

N^o D'ORDRE

330.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. G. RAYET,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE, AGRÉGÉ DES SCIENCES PHYSIQUES,
ASTRONOME ADJOINT A L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

- 1^{re} THÈSE.** — MÉMOIRE SUR LES RAIES BRILLANTES DU SPECTRE DE L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE ET SUR LA CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL.
2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DE CHIMIE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le décembre 1871, devant la Commission
d'Examen.

MM. DESAINS, *Président.*

JAMIN,

H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE, } *Examineurs.*

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1871

N° D'ORDRE

530.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES,

PAR M. G. RAYET,

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE NORMALE, AGRÉGÉ DES SCIENCES PHYSIQUES,
ASTRONOME ADJOINT A L'OBSERVATOIRE DE PARIS.

- 1^{re} THÈSE.** — MÉMOIRE SUR LES RAIES BRILLANTES DU SPECTRE DE L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE ET SUR LA CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL.
2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DE CHIMIE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **décembre 1871**, devant la Commission
d'Examen.

MM. DESAINS, *Président.*

JAMIN,

H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE,

} *Examineurs.*

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1871

Mr. Hück
hommage affectueux de l'auteur
G. Rayet

ACADÉMIE DE PARIS.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

DOYEN	MILNE EDWARDS, Professeur. Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
PROFESSEURS HONORAIRES {	DUMAS. BALARD.
	DELAFOSSÉ..... Minéralogie.
	CHASLES..... Géométrie supérieure.
	LE VERRIER..... Astronomie.
	DELAUNAY..... Mécanique physique.
	P. DESAINS..... Physique.
	LIUVILLE..... Mécanique rationnelle.
	HÉBERT..... Géologie.
	PUISEUX..... Astronomie.
PROFESSEURS	DUCHARTRE..... Botanique.
	JAMIN..... Physique.
	SERRET..... Calcul différentiel et intégral.
	H. S ^{te} -CLAIRE DEVILLE... Chimie.
	PASTEUR..... Chimie.
	LACAZE-DUTHIERS..... Anatomie, Physiologie compa- rée, Zoologie.
	BERT..... Physiologie.
	HERMITE..... Algèbre supérieure.
	BRIOT..... Calcul des probabilités, Phy- sique mathématique.
AGRÉGÉS	{ BERTRAND..... } Sciences mathématiques.
	{ J. VIEILLE..... }
	{ PELIGOT..... } Sciences physiques.
SECRÉTAIRE	PHILIPPON.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS, SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.

A MON PÈRE.

G. RAYET.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549915_0077

PREMIÈRE THÈSE.

MÉMOIRE

SUR LES

RAIES BRILLANTES DU SPECTRE DE L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE

ET SUR LA

CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL ;

Le Soleil se présente à nous comme une masse sphérique incandescente légèrement aplatie aux pôles et dont la densité moyenne (0,25 de celle de la Terre) n'est guère qu'une fois et demie celle de l'eau. Sur sa surface, on distingue des zones très-lumineuses, *les facules*, et des régions obscures, *les taches*; les facules se trouvent dans toutes les régions du Soleil, les taches sont concentrées au nord et au sud de l'équateur dans deux zones comprises entre 3 et 35 degrés de latitude héliocentrique.

Quelle est l'origine des facules? Quelle est l'origine des taches? Quelle est en un mot la constitution physique du Soleil? Telles sont les questions auxquelles ont successivement essayé de répondre les hypothèses de Wilson, d'Herschel, d'Arago, la théorie de Kirchhoff, et qui vien-

nent enfin de recevoir une solution satisfaisante, grâce aux travaux de MM. Faye et Stoney, et grâce aux observations d'analyse spectrale poursuivies sans relâche depuis le mois d'août 1868, par divers astronomes.

Vers 1852, Arago ⁽¹⁾, combinant les hypothèses de Wilson, Bode et Herschell, concevait le Soleil comme formé d'un noyau obscur et solide d'une température peu différente de celle de la Terre (le Directeur de l'Observatoire de Paris supposait que le Soleil pouvait être habité), enveloppé d'une atmosphère réfléchissante et quelque peu opaque à laquelle succède une atmosphère lumineuse ou photosphère, enfouie elle-même à une certaine distance d'une atmosphère diaphane. Les taches sont produites par des ouvertures correspondantes dans la photosphère lumineuse et dans l'atmosphère réfléchissante, située au-dessous. Les facules sont des parties surélevées de la photosphère. Quant aux protubérances observées pendant les éclipses totales de Soleil, elles s'expliquent par des nuages flottants dans l'atmosphère diaphane qui surmonte la photosphère ⁽²⁾.

Dans ses recherches sur le spectre solaire, publiées en 1861 dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, et en 1862, dans les *Annales de Physique et de Chimie*, Kirchhoff démontre sans peine l'insuffisance et le peu de probabilité de l'hypothèse compliquée d'Arago, et propose de lui substituer la théorie suivante. Le Soleil est formé d'un noyau liquide et incandescent, surmonté d'une atmosphère gazeuse dont la température, inférieure à celle du noyau, est cependant encore assez élevée pour qu'elle contienne à l'état de vapeurs la plupart des métaux. Le noyau liquide émet une lumière dont le spectre est continu; mais ces rayons de lumière doivent, pour arriver jusqu'à nous, traverser l'atmosphère solaire et subissent nécessairement une

⁽¹⁾ *Astronomie populaire*, t. II, p. 91, et *Notices scientifiques*, t. IV, p. 116.

⁽²⁾ *Astronomie populaire*, t. III, p. 622.

absorption élective dont la conséquence forcée est l'existence des raies noires du spectre solaire. Le but essentiel de Kirchhoff, celui auquel toute autre considération est en quelque sorte sacrifiée, est en effet l'explication des raies noires de Fraunhofer, en partant du principe de l'égalité des pouvoirs émissifs et absorbants, démontrée pour le sodium, par les expériences de Foucault et Swann, et généralisée par les recherches de Kirchhoff et Bunsen.

L'atmosphère solaire doit d'ailleurs être le siège de refroidissements locaux donnant lieu à la formation de nuages opaques se développant de bas en haut ; la partie inférieure de ces nuages, formée dans une couche où les vapeurs sont très-abondantes, sera nécessairement très-dense ; la partie supérieure, formée à une hauteur où les vapeurs sont peu abondantes, sera beaucoup plus transparente. Suivant Kirchhoff, ce sont à ces nuages, ayant la forme d'un tronc de cône, dont la petite base est située vers le noyau solaire, que sont dues les taches : si ces taches sont cantonnées dans une zone déterminée, cela tient à ce qu'il existe sur le Soleil une circulation atmosphérique analogue aux alizés et aux contre-alizés de notre Terre, et que les nuages doivent se former de préférence au point de rencontre du courant équatorial et du courant polaire de retour.

Quant aux facules, elles se produisent lorsque deviennent visibles, à la surface du Soleil, des corps possédant un pouvoir rayonnant ou une température plus considérable que ceux qui les entourent.

Les protubérances pourront, comme pour Arago, être des nuages lumineux flottant dans l'atmosphère solaire.

Cette analyse rapide de la théorie de Kirchhoff montre que les hypothèses du physicien d'Heidelberg sont infiniment plus rationnelles et plus simples que celles du physicien français ; en outre, elles donnent une explication facile des raies noires du spectre, de la formation et de la

localisation des taches et enfin des changements rapides de leurs apparences.

La théorie de Kirchhoff soulève cependant quelques difficultés.

La première est relative à la faible densité du Soleil. Comment comprendre que le noyau solaire, qui renferme à l'état liquide des corps ayant, comme les métaux, une densité voisine de 7 ou 8, ait une densité moyenne de 1,5 seulement.

La seconde est relative à la déformation qu'éprouvent les taches, lorsqu'elles marchent vers le bord du Soleil. L'observation montre que, dans ce cas, la pénombre située du côté du centre disparaît complètement, mais que le noyau est toujours compris dans le contour formé par le prolongement de la portion de pénombre encore visible. Dans l'hypothèse de Kirchhoff il devrait, au contraire, arriver des cas où le noyau serait situé en dehors de la pénombre.

Enfin, quiconque a examiné les taches solaires avec une attention soutenue, conviendra que, avec cette transition brusque de l'ombre à la pénombre, et de la pénombre à la surface générale du Soleil, les taches ressemblent bien peu à des nuages.

Les raisons précédentes me portent à croire que la théorie de Kirchhoff, qui a marqué en 1861 un progrès important dans l'étude de la constitution physique du Soleil, doit être aujourd'hui mise de côté et remplacée par les hypothèses dues à MM. Faye et Stoney. J'espère, en effet, montrer dans la suite de ce Mémoire que ces hypothèses expliquent avec précision tous les faits connus.

Pour moi, comme pour MM. Faye et Stoney, le Soleil est formé d'une masse entièrement gazeuse, dont la température décroît du centre à la circonférence, et dans laquelle les corps sont étagés d'après leurs densités de vapeur, les plus lourds vers le centre, les plus légers à la périphérie.

Dans cette masse de gaz s'établissent nécessairement des courants, les uns ascendants, les autres descendants. Les courants ascendants entraînent les vapeurs métalliques à des hauteurs où la température est trop faible pour perpétuer leur existence; ces vapeurs se condensent alors en gouttelettes dont l'ensemble forme des nuages lumineux. La réunion de ces nuages constitue la photosphère qui limite pour nous le Soleil. Les courants descendants, joints à l'effet de la pesanteur, ramènent les nuages vers les couches plus chaudes du centre du Soleil; dans cette chute, les corps se réchauffent et passent de nouveau à l'état gazeux.

Le renouvellement continu de la matière photosphérique permet à la masse entière du Soleil de prendre part à son rayonnement lumineux et calorifique, en sorte que le refroidissement de la masse totale peut être très-lent.

Au-dessus de la photosphère se trouve une zone formée en majeure partie de gaz permanents. Nous lui réservons le nom d'*atmosphère solaire*; c'est elle qui forme, en partie au moins, la couronne des éclipses totales, c'est dans ses couches inférieures que se produisent les protubérances.

Il n'entre point dans notre plan d'exposer ici d'une manière plus complète les théories de MM. Faye et Stoney, mais les notions précédentes étaient nécessaires pour rendre facile l'exposé des recherches, objet de ce travail.

Mon Mémoire se divisera en six parties :

1° Analyse et discussion des observations spectroscopiques des protubérances faites pendant les éclipses totales de Soleil du 18 août 1868, du 7 août 1869, et du 22 décembre 1870;

2° Exposé de la méthode qui permet d'observer en tout temps les lignes brillantes de l'atmosphère solaire;

3° Description du spectroscope employé à l'étude de la lumière solaire;

4° Catalogue et apparence des diverses lignes brillantes de l'atmosphère solaire;

- 5° Étude de la lumière des taches ;
 6° Conclusion des recherches précédentes relativement à la constitution physique du Soleil.

I. — ANALYSE ET DISCUSSION DES OBSERVATIONS SPECTROSCOPQUES FAITES PENDANT LES ÉCLIPSES TOTALES DE SOLEIL DES 18 AOUT 1868, 7 AOUT 1869 ET 22 DÉCEMBRE 1870.

Les astronomes du siècle dernier et du commencement du nôtre, qui ont observé les éclipses totales de Soleil, ont presque tous signalé ce fait remarquable, qu'au moment où le disque de la Lune recouvre en entier le disque du Soleil, les bords de notre satellite paraissent surmontés de saillies rouges où roses à formes singulières. Ces apparences, visibles seulement pendant la période de totalité, ont reçu le nom de *protubérances*.

Les protubérances ont pour la première fois été décrites avec détails par Arago et les autres observateurs de l'éclipse totale du 8 juillet 1842; revues lors de l'éclipse du 8 juillet 1851, elles ont enfin été étudiées avec une sagacité remarquable par les astronomes réunis en Espagne à l'occasion de l'éclipse totale du 18 juillet 1860. La question était de savoir si les protubérances ont une existence réelle, soit sur la Lune, soit sur le Soleil, ou si elles ne sont que le résultat d'un phénomène de diffraction produit sur les bords de la Lune.

Les mesures micrométriques faites sur les photographies obtenues à Rivabellosa, par M. Warren de la Rue, les mesures directes de M. Yvon Villarceau, la comparaison des photographies du R. P. Secchi avec celles de l'expédition anglaise, donnèrent la preuve que les protubérances ne sont pas dues à un phénomène de diffraction, qu'elles ont au contraire une existence réelle, et qu'elles sont situées à la surface du Soleil.

Cependant quelques astronomes hésitaient encore à admettre ces conséquences difficiles à concilier avec l'hypothèse de Kirchhoff; il restait d'ailleurs à déterminer la nature physique de ces protubérances. C'est pour fournir de nouvelles preuves de l'existence réelle des protubérances et pour déterminer leur nature à l'aide d'observations au spectroscopie, que furent entreprises les expéditions astronomiques envoyées dans l'Inde par l'Angleterre, l'Allemagne et la France, pour observer l'éclipse totale du 18 août 1868.

Des observations spectroscopiques des protubérances ont été faites le 18 août 1868, par le lieutenant Herschel à Iamkhandi, par le major Tennant et M. Janssen à Gunttoor, et enfin par moi-même sur la côte est de la presqu'île de Malacca.

Le lieutenant Herschel était pourvu d'une lunette de 13 centimètres d'ouverture, à l'oculaire de laquelle s'adaptait un spectroscopie du système d'Huggins, avec lentille cylindrique intérieure et fente; une échelle divisée, placée dans l'oculaire, devait servir de point de repère pour les mesures qu'il pouvait être utile de faire. L'éclipse totale étant arrivée, l'instrument fut rapidement dirigé sur une protubérance, et le lieutenant Herschel reconnut que le spectre de la lumière de ces corps était formé de *trois* lignes brillantes; une raie rouge située entre B et C, probablement au voisinage de C; une raie orangée un peu plus réfrangible que D; une ligne bleue un peu moins réfrangible que F ⁽¹⁾.

A Gunttoor (latitude nord, $16^{\circ} 17' 34''$; longitude est de Paris, $5^{\text{h}} 21^{\text{m}} 47^{\text{s}}$), le major Tennant, qui disposait d'un appareil semblable au précédent, constate l'existence de

(¹) HERSCHEL, *On the solar eclipse of 1868 seen at Iamkhandi*. (*Proceedings of the Royal Society*, t. XVII, p. 303).

cinq lignes brillantes voisines des raies solaires C, D, E, F et G ⁽¹⁾.

Dans la même station, M. Janssen, avec des lunettes de 6 pouces d'ouverture et des spectroscopes à vision directe, compte, dans le spectre des protubérances, *cinq* ou *six* lignes très-brillantes rouge, jaune, verte, bleue, violette ⁽²⁾.

Les astronomes de l'Observatoire de Paris s'étaient établis sur la côte est de la presqu'île de Malacca, par $11^{\circ}43'$ de latitude nord et $6^{\text{h}}29^{\text{m}}50^{\text{s}}$ de longitude est de Paris.

Je disposais, pour l'observation des protubérances, d'un télescope à miroir argenté, parabolisé par les soins obligeants de M. A. Martin; l'instrument avait 20 centimètres d'ouverture efficace et $1^{\text{m}},20$ de foyer. Le spectroscope à vision directe avait été admirablement construit par M. Duboscq; composé de trois prismes alternés, il donnait une dispersion suffisante, non-seulement pour séparer les deux raies D, mais encore pour faire par instants soupçonner l'existence d'une ligne intermédiaire, et son oculaire avait été combiné de manière à embrasser tout le spectre de B, jusqu'un peu au delà de G. Un chercheur coudé, fixé au télescope, permettait de diriger la fente du spectroscope sur un point déterminé du Soleil.

L'éclipse totale approchant, le spectroscope fut réglé de manière à placer sa fente dans une direction perpendiculaire au très-mince croissant de lumière encore visible. En même temps dans l'ignorance où je me trouvais de l'éclat probable des protubérances, la fente fut un peu ouverte de manière à admettre une plus grande somme de lumière, en conservant toutefois assez de netteté au spectre, pour que les principales lignes de Fraunhofer fussent encore visibles. La

⁽¹⁾ Major TENNANT, *Report on the indian eclipse* 1863. (*Royal Astr. Society Mémoires*, vol. VII).

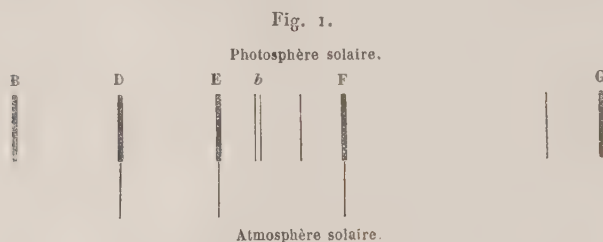
⁽²⁾ JANSSEN, *Rapport sur l'éclipse du 18 août 1868*. (*Annuaire du Bureau des longitudes pour 1869 et Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de Paris*, t. LXVIII, p. 367).

totalité s'étant produite, le spectroscopie fut rapidement dirigé sur une protubérance en forme de longue corne de près de 3 minutes de hauteur, qui se montrait avec un grand éclat sur le bord est du Soleil. Le spectre solaire ordinaire, avec son cortège de lignes noires, avait totalement disparu; sur un champ presque obscur se détachaient *neuf* lignes brillantes très-vives et d'une longueur apparente assez grande ⁽¹⁾. Ces lignes étaient-elles dues à la lumière des protubérances ou à la lumière de la Couronne, que devait nécessairement traverser dans toute son étendue une fente perpendiculaire aux bords du Soleil? Pour décider entre ces deux origines possibles, je tournai rapidement le spectroscopie de 90 degrés pour amener la fente à être tangente au bord du Soleil, et l'instrument fut de nouveau dirigé sur la protubérance. Dans cette nouvelle position, les lignes brillantes furent réduites à une longueur extrêmement faible, répondant à la faible largeur de la corne lumineuse considérée; elles devinrent presque des points lumineux. Dans cette position, comme dans la précédente, la fente coupait toujours la Couronne, et, si les lignes brillantes avaient été dues à la lumière de cette zone, elles auraient conservé une longueur notable. La réduction des lignes à une très-faible longueur démontrait donc qu'elles étaient dues à la lumière des protubérances et non pas à celle de la Couronne.

La fente du spectroscopie ayant été replacée perpendiculairement au bord du Soleil, c'est-à-dire dans la direction de l'axe de la protubérance en forme de corne, je retrouvai les neuf lignes brillantes vues un instant auparavant. Toutes ces lignes prenaient naissance au même niveau vers la partie du champ spectral occupé par l'image de la Lune; mais du côté qui répondait à la partie la plus élevée de l'atmosphère solaire, ou au sommet de la protubérance, elles

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 12 octobre 1868.

se terminaient à des hauteurs variables; quelques-unes d'entre elles se prolongeaient au delà de la longueur moyenne par un trait lumineux très-faible. Ces diverses lignes différaient d'ailleurs par leur éclat relatif. Le fac-simile ci-joint (*fig. 1*), d'un dessin fait peu d'instants après l'éclipse, lorsque mes souvenirs étaient très-précis, reproduit l'apparence générale du spectre.



D'après la disposition des lignes dans le champ, d'après leur espacement relatif, leur couleur, et enfin d'après la physionomie même de leur ensemble, j'avais assimilé les neuf lignes brillantes de mon spectre aux principales raies de Fraunhofer B⁽¹⁾, D, E, *b*, une ligne inconnue, F et deux lignes du groupe G. Cette estime était imparfaite sans doute; on verra cependant qu'elle n'était pas fort éloignée de la vérité.

L'examen de cette première protubérance étant terminé, je mis la fente sur la grande région lumineuse qui existait à l'ouest du Soleil. Le spectre était cette fois encore formé de lignes brillantes disposées comme dans le premier cas, seulement il n'y avait qu'une seule ligne violette.

L'étude de cette région était à peine entamée, que, les six minutes cinquante-quatre secondes de l'éclipse étant écoulées, le Soleil se montrait de nouveau et faisait disparaître tout phénomène spécial.

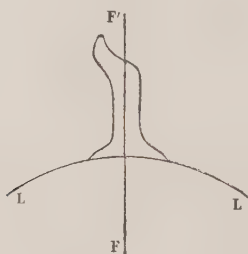
(¹) Il y a eu ici une erreur d'estime; la ligne B ne fait pas partie du spectre des protubérances, mais on y rencontre la ligne C.

Les observations du lieutenant Herschel, celles du major Tennant, celles de M. Janssen, mes propres remarques s'accordent à indiquer que le spectre des protubérances est formé de quelques lignes brillantes : d'où la conséquence nécessaire, que ces corps, de figures souvent si singulières, sont des amas de gaz incandescents ; mais les divers observateurs comptent un nombre variable de lignes. Cette discordance doit tenir à la puissance optique différente des instruments employés dans les diverses stations et probablement aussi à ce que nous avons fait usage de fentes, qui, plus ou moins étroites, laissaient entrer dans le spectroscopie une quantité variable de lumière. Les physiciens savent, en effet, fort bien, qu'un tube de Geissler donne un nombre de lignes d'autant plus grand que la fente du spectroscopie avec lequel on en étudie la lumière est plus ouverte. Rien donc d'impossible à ce qu'une fente plus étroite ne m'eût pas permis d'apercevoir les lignes très-faibles, qui, dans mon spectre, étaient intermédiaires entre E et F et entre F et G ; si de mes neuf lignes on retranche les lignes indiquées comme très-faibles, on retombe en effet sur cinq lignes comme le major Tennant, ou cinq ou six comme M. Janssen. Quant aux observations du lieutenant Herschel, nous savons qu'elles ont été contrariées par les nuages, ce qui suffit certainement à expliquer pourquoi cet observateur habile ne mentionne que trois lignes lumineuses.

Mes observations signalent, en outre, un fait important inaperçu des autres astronomes ; dans le spectre de la grande protubérance en forme de corne (*fig. 2*), trois des lignes brillantes les plus vives étaient plus longues que les autres. Au moment de cette observation, la fente FF' du spectroscopie orientée de manière à être perpendiculaire à l'image focale LL' du bord lunaire, coupait dans le sens de sa grande longueur, c'est-à-dire de haut en bas, l'image de la grande protubérance, et par conséquent ses divers points, en allant de F vers F', répondaient à des régions de cette protubé-

rance de plus en plus élevées au-dessus de la photosphère solaire. De l'inégale longueur des lignes lumineuses du spectre, résulte donc que, tandis que la base de la protubérance donnait un spectre à neuf lignes brillantes, le sommet donnait un spectre formé de trois lignes seulement; il faut donc admettre que les gaz de la protubérance n'avaient pas le même état physique tout le long de cette immense corne de 3 minutes de hauteur, ou bien que leur composition chimique se simplifiait par la disparition des éléments caractérisés par les lignes courtes à mesure que l'on s'élevait.

FIG. 2.



La différence entre le nombre des lignes que donnait la protubérance en forme de corne du bord est du Soleil et la masse nuageuse de la région ouest est un nouvel indice de cette différence possible de composition chimique.

Depuis le 18 août 1868, les astronomes ont pu examiner par les méthodes spectrales les protubérances de l'éclipse totale du 7 août 1869. Le phénomène, visible dans l'Amérique du Nord, a été étudié avec succès au point de vue physique par M. W. Harkness, professeur de mathématiques à l'Observatoire naval de Washington.

M. Harkness s'était établi à Des Moines (latitude nord, $46^{\circ}36'$; longitude ouest, de Paris $95^{\circ}35'$), dans l'état d'Iowa,

(¹) *Reports on the total solar eclipse of august., 7, 1869*, publiés par le commodore Sands, p. 62 et 63.

sur la ligne centrale de l'éclipse, avec un spectroscopé coudé à un seul prisme monté sur une lunette de 77 millimètres d'ouverture et de 1^m,10 de distance focale. Il résulte de ses observations faites, la fente du spectroscopé étant tangente à l'image du bord solaire, que « la lumière du sommet » des protubérances donne un spectre formé d'un petit nombre de lignes brillantes; plus bas les lignes deviennent plus nombreuses, celles propres au sommet existant toujours. Enfin, si la fente est placée sur la base, toutes les lignes précédentes se montrent, et il y en a encore quelques autres. Je crois, dit M. Harkness, que mes observations indiquent que toutes les protubérances ont à peu près, sinon exactement, la même constitution, mais que cette constitution éprouve un changement graduel de la base au sommet, en sorte que, si la protubérance est examinée avec une fente dont la direction est perpendiculaire au limbe du Soleil, les lignes brillantes doivent offrir des longueurs différentes. »

Les observations de M. Harkness sont donc une confirmation importante de mes propres remarques, sur lesquelles il ne peut rester aucun doute.

Quant aux lignes brillantes vues par l'astronome américain, elles sont au nombre de six et ont les longueurs d'onde suivantes :

Dix-millionièmes de millimètre.	Substances.	
6569	Hydrogène.	C. de Fraunhofer ; H _α de Plucker.
5894		Ligne voisine de D du sodium.
5293	Fer.	Ligne très-voisine de E.
5177,5	Magnésium.	Lignes b ₁ et b ₂ non dédoublées.
4860,8	Hydrogène.	F ; H _β de Plucker.
4359	Hydrogène.	Ligne voisine de G ; H _γ de Plucker.

Les positions concordent fort bien avec celles que j'avais trouvées en août 1868.

L'éclipse du 7 août 1869 nous donne encore un renseignement précieux, relatif au nombre des lignes brillantes que peut offrir le spectre d'une protubérance. Je lis, en effet, dans une lettre de M. Winlock, citée par M. Lockyer ⁽¹⁾ : « J'ai, dit l'astronome américain, vu *trois* lignes » (C, près de D, F) avant et après la totalité, et *onze* pendant la totalité; huit lignes s'éteignirent instantanément » dès la première apparition de la lumière solaire. »

Les astronomes, qui s'étaient rendus à Oran ou à Cadix pour y observer l'éclipse totale du 22 décembre 1870, n'ont point été favorisés par le beau temps. En Algérie, le ciel était couvert. En Espagne, il y avait des nuages, en sorte qu'aucune observation vraiment intéressante n'a pu être faite. Notons cependant que le lieutenant Brown ⁽²⁾, confirmant mes observations et celles de M. Harkness, a constaté que les sept lignes brillantes du spectre des protubérances présentaient des longueurs différentes.

La position exacte et le nombre des lignes brillantes que l'on peut observer dans le spectre d'une protubérance se trouvent d'ailleurs déterminés par des observations que nous savons aujourd'hui faire chaque jour.

II. — MÉTHODE QUI PERMET D'OBSERVER EN TOUT TEMPS LES LIGNES BRILLANTES DU SPECTRE DE L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE.

Les observations d'analyse spectrale, faites pendant la durée de l'éclipse totale de Soleil du 18 août 1868, ayant appris aux astronomes que les protubérances étaient des objets réels appartenant au Soleil et que la lumière de ces corps, composée de rayons d'un petit nombre de réfrangibilités, donnait, après son passage dans un système de pris-

⁽¹⁾ LOCKYER, *Comptes rendus* du 27 juin 1870.

⁽²⁾ L. BROWN, *Monthly notices of the astronomical Society*, janvier 1871.

mes, un spectre formé de quelques lignes brillantes, M. Janssen eut immédiatement l'idée que les lignes lumineuses des protubérances devaient être en tout temps visibles sur les bords du Soleil, et qu'il n'était point besoin pour cela de la présence de la Lune devant le disque de cet astre. L'expérience faite dès le lendemain (19 août) fut couronnée de succès, et M. Janssen put revoir à loisir la ligne rouge et la ligne verte remarquées le jour précédent dans le spectre des protubérances; en même temps, il identifia ces deux lignes avec les raies C et F de Fraunhofer ⁽¹⁾.

L'important résultat obtenu par le physicien français ne fut connu en Europe que le 26 octobre 1868.

A Londres, M. Lockyer, guidé par les théories de M. Stoney sur la constitution physique du Soleil, cherchait depuis longtemps déjà à observer des lignes brillantes dans le spectre de l'extrême bord du Soleil; soit que l'appareil employé jusqu'alors fût d'un pouvoir dispersif insuffisant, soit par suite de l'omission de quelque précaution essentielle, soit enfin par l'ignorance de ce qu'on devait voir, il n'était, au mois d'octobre 1868, parvenu à aucun résultat; mais ayant eu connaissance, par ma Note du 12 octobre 1868 sur le spectre des protubérances ⁽²⁾, de la position des principales lignes brillantes, cet astronome arrivait dès le lendemain à distinguer nettement trois d'entre elles: la ligne rouge C, la ligne jaune voisine de D, et enfin la ligne F ⁽³⁾.

Le R. P. Secchi, au mois de novembre, et puis moi-

(1) Parmi les diverses lignes des protubérances les lignes rouge et verte sont les seules dont M. Janssen donne la position exacte. La lecture de son Rapport au Bureau des longitudes ou à l'Académie des Sciences (Calcutta, 3 octobre 1868) indique d'ailleurs qu'aucune mesure n'a été faite pendant l'éclipse.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 12 octobre 1868

(3) *Comptes rendus* du 26 octobre 1868. — « J'avais, dit M. Lockyer, lu la Note de M. Rayet dans la nuit qui a précédé mon observation. »

même, dès que je disposai d'un instrument convenable, nous renouvelâmes l'observation par la seule méthode possible, par celle qu'avait employée MM. Janssen et Lockyer.

Pour voir les raies brillantes de l'atmosphère solaire, le procédé est fort simple et peut être mis en pratique même à l'aide d'une lunette de moyenne grandeur. On commence par former une image nette du Soleil, ayant au moins 5 centimètres de diamètre. Dans le plan de cette image, on place la fente d'un spectroscopie à vision directe; la position de cet instrument doit être telle que son axe optique soit dirigé vers le centre optique de l'objectif de la lunette. Le centre optique de l'objectif, le centre optique de la lentille de grandissement, la fente, le centre optique de la lentille collimateur, le centre optique de la lentille objectif de la lunette astronomique avec laquelle on examine le spectre, sont alors en ligne droite. L'appareil ayant été monté dans ces conditions, il suffit de l'orienter de manière à amener l'image du bord du Soleil à se faire sur la fente, pour voir dans le spectroscopie se renverser une ou plusieurs des raies du spectre.

Les diverses lignes protubérantielles se voient avec une facilité très-inégale: les plus aisément perceptibles sont les lignes rouge et jaune que l'on obtient sur tous les points du Soleil et par tous les temps, dès qu'il arrive dans la lunette assez de rayons directs pour former une image du Soleil. La ligne verte est encore au nombre de celles qui se renversent presque toujours; cependant, par les ciels brumeux, la vision en est difficile. Quant aux lignes plus réfrangibles, elles ne deviennent visibles que par un ciel très-pur, exempt de brumes ou de poussières de nature à diffuser une quantité notable de lumière.

Nous reviendrons sur ces points.

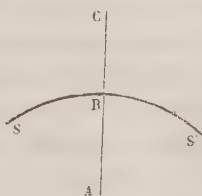
La fente du spectroscopie peut occuper, par rapport à l'image focale du disque solaire, deux positions principales

différentes. Elle peut être orientée de manière à lui être tangente; elle peut se trouver perpendiculaire aux bords de cette image.

Examinons d'abord les conditions du second mode d'observation avec une fente perpendiculaire au bord de l'image solaire.

Soit, dans le plan de la fente du spectroscope SS' (*fig. 3*),

Fig. 3.



le bord apparent du disque solaire et ABC la position de la fente. Considérons deux portions de cette fente petites et très-voisines du point B . La portion AB de la fente située à l'intérieur du disque est éclairée : 1° par les rayons émis par la photosphère solaire et concentrés par l'objectif; soit I_p leur intensité; 2° par les rayons provenant de la masse entière du Soleil, photosphère et atmosphère et diffusés, réfléchis ou réfractés par les particules des atmosphères solaires ou terrestres; soit I_a leur intensité.

La portion BC de la fente qui coupe l'image de l'atmosphère solaire est éclairée : 1° par les rayons émis par la portion lumineuse de l'atmosphère solaire et dont nous désignerons l'intensité par I_a ; 2° par une lumière diffuse ayant même origine que celle qui tombe sur la portion AB de la fente et à très-peu de chose près égale à cette dernière, puisque les portions considérées de la fente sont voisines.

La différence absolue d'éclairement entre les portions AB et BC de la fente est donc égale à la différence $I_p - I_a$ entre la lumière propre de la photosphère et la lumière propre de l'atmosphère solaire (ceci sera tout à fait exact

pour deux portions égales de la fente de faible longueur et se touchant en B). Comme la lumière de la photosphère est beaucoup plus intense que la lumière de l'atmosphère, il en résulte que, dans le champ de l'oculaire du spectroscopie, le spectre répondant à la partie AB de la fente doit être infiniment plus lumineux que celui qui répond à la portion BC de cette même fente.

L'observation montre qu'il en est en effet ainsi. Le spectre de l'image de la photosphère solaire est d'un très-vif éclat; le spectre de l'atmosphère solaire est beaucoup moins brillant. La ligne de séparation des deux spectres est d'ailleurs très-nette si la fente est rigoureusement au foyer de l'objectif et si ce dernier est achromatique; elle est diffuse si l'une ou l'autre de ces conditions ne sont pas remplies.

Quant à l'éclat relatif $\frac{I_p + I_d}{I_a + I_d}$ des deux spectres, il est d'autant plus grand, que la quantité de lumière diffuse est plus faible. L'éclat relatif des deux parties du champ mesure en quelque sorte le degré de transparence et de pureté du ciel.

Les lignes noires du spectre solaire sont visibles dans l'une ou l'autre partie du champ, et, si la fente est propre, elles sont toujours dans le prolongement rigoureux les unes des autres; il n'y a entre les deux spectres d'autre différence que celle qui provient d'une illumination très-grande dans un cas, faible dans l'autre.

Toutefois les lignes qui répondent aux lignes brillantes des protubérances s'affaiblissent progressivement avant d'arriver à la portion du champ qui correspond à la limite de la photosphère, et un peu avant d'arriver à cette limite, elles sont devenues brillantes. La ligne brillante se prolonge d'ailleurs d'une quantité variable dans le spectre de l'atmosphère solaire, en sorte que le spectre de la photosphère paraît surmonté de flammes rouges, jaunes, vertes et violacées.

La longueur de ces diverses lignes est différente. La ligne rouge C est toujours la plus longue, la ligne D et la ligne F ont une étendue à peu près égale; les autres lignes, si on les voit par ce procédé, sont extrêmement courtes.

Une circonstance qu'il faut remarquer, c'est que la longueur apparente des lignes dépend de la largeur de la fente. Si la fente est ouverte à environ $\frac{1}{2}$ millimètre, l'œil, tout à fait ébloui par la clarté du spectre direct du Soleil, ne voit aucune ligne brillante; si l'on ramène la fente à environ 0,3 de millimètre, les lignes commencent à apparaître et sont très-courtes; si l'on serre encore un peu, elles s'allongent et atteignent bientôt un maximum de longueur qui dépend de la position de la fente sur le disque solaire; il y a, en effet, des points où les lignes sont toujours très-courtes, et d'autres où elles ont une longueur considérable.

Ces variations de longueur, remarquées dès l'origine par MM. Janssen et Lockyer, pourraient sans aucun doute donner un moyen d'étudier, à l'aide de coupes successives, la figure des protubérances; mais les profils ainsi déterminés ne peuvent être que grossiers, car les lignes brillantes ont la forme d'un fer de lance terminé par une pointe très-aiguë, dont l'extrémité vraie m'a toujours paru impossible à saisir avec précision. Une des extrémités empiète d'ailleurs d'une quantité notable sur le disque du Soleil, en sorte que, par cette méthode, on serait inévitablement conduit à donner aux protubérances une hauteur supérieure à leur hauteur réelle.

La méthode d'exploration de l'atmosphère solaire par une fente perpendiculaire au bord du limbe est très-fatigante pour l'œil et ne m'a jamais donné de résultats bien remarquables; je lui préfère beaucoup la méthode que j'ai employée dès l'origine et qui consiste à placer la fente tangentielle au limbe du Soleil ⁽¹⁾. On ne reçoit ainsi

(¹) Le lieutenant Herschel trouve aussi que cette disposition est la plus

dans l'instrument que la lumière diffuse et les rayons provenant directement de l'atmosphère solaire; l'œil, moins ébloui, conserve une bien plus grande sensibilité et se trouve capable de saisir des phénomènes beaucoup plus délicats. Dans ces circonstances, on est facilement maître d'étudier telle ou telle région de l'atmosphère solaire, et cela a une importance considérable, car les phénomènes sont loin d'être les mêmes à toutes les hauteurs.

Quant à l'apparence des lignes brillantes, examinées avec une fente tangente, elle est la suivante. Le fond du champ est formé par le spectre à lignes noires de la lumière diffuse, et les lignes lumineuses le traversent sur une longueur plus ou moins grande; très-brillantes vers le milieu, elles se terminent en fer de lance par des pointes très-aiguës.

Les lignes lumineuses, souvent assez étendues pour traverser toute la largeur du champ, offrent sur leurs longueurs des régions très-brillantes et d'autres beaucoup plus faibles; en sorte que, si on les examine avec une fente qui ne soit pas très-étroite, elles offrent l'apparence d'une série de fuseaux mis bout à bout (*fig. 4*). Cette physio-

Fig. 4.



nomie, souvent décrite soit par le R. P. Secchi, soit par

favorable pour obtenir une bonne vision des lignes brillantes (*Proceedings of the Royal Society*, t. XVII, p. 507).

M. Lockyer, soit par moi-même, s'observe sur toutes les lignes et surtout sur la ligne C ou les lignes plus réfrangibles que F, que la faiblesse de leur lumière engage en général à regarder avec une fente un peu large. Il est d'ailleurs facile de constater que ces renflements se correspondent dans les diverses lignes.

L'emploi d'une fente orientée tangentiellement aux bords de l'image du disque solaire, et que l'on peut placer à une distance plus ou moins grande de ce bord, permet d'étudier par coupes horizontales successives les appendices lumineux qui font saillie au-dessus de la photosphère. Par la considération de la longueur des lignes brillantes jointe à la mesure de la distance de la fente au bord apparent du Soleil, on pourrait obtenir le profil géométrique de ces saillies ou protubérances. Ce procédé me paraît peu exact. En ouvrant beaucoup la fente on arrive d'ailleurs, ainsi que l'a montré Zoellner, à voir distinctement les protubérances elles-mêmes, ou du moins une de leurs images; l'image rouge est la plus facile à obtenir.

Dans les études de spectrométrie chimique, lorsqu'on veut chercher les lignes brillantes qui résultent de la vaporisation d'une substance, on se borne à diriger le collimateur du spectroscope vers la flamme, en sorte qu'un point de la fente est éclairé par des rayons de lumière qui proviennent de toutes les régions de cette flamme, et, par suite, le spectre résulte de l'effet d'une sorte de lumière moyenne. Dans les recherches de spectroscopie astronomique, la fente du spectroscope est exactement placée au point où se forme une image réelle du corps dont on étudie la lumière; chaque élément de la fente est ainsi éclairé par des rayons qui viennent d'un point parfaitement déterminé de ce corps, en sorte que, si ce point émet une lumière de composition particulière, la série des images prismatiques de l'élément correspondant de la fente possédera un caractère spécial. C'est ainsi que les points de la fente

sur lesquels existe l'image d'une protubérance donnent une ligne brillante rouge, une ligne brillante jaune et une ligne brillante verte, dont les longueurs sont précisément égales à la longueur de la section que la fente fait dans l'image de la protubérance. En particulier, la ligne rouge est identique à une image de la portion de la protubérance visible à travers la fente, pour un observateur pourvu d'un verre monochromatique de la couleur de la raie C. Si la fente est très-étroite, on ne voit qu'une très-faible portion de la protubérance; mais, en l'élargissant, on peut arriver à la voir dans son entier.

Il faut remarquer qu'en ouvrant la fente on introduit dans le spectroscope, en même temps que la lumière d'une plus grande partie de la protubérance, une quantité de plus en plus grande de lumière diffusée ou réfractée par l'atmosphère solaire, en sorte que cette dernière devient bientôt assez vive pour effacer l'image de la protubérance. C'est à cause de ce fait que les protubérances ne sont facilement visibles qu'avec leurs rayons rouges C ou verts F, qui sont placés dans une région peu lumineuse du spectre.

Les conditions les plus avantageuses pour la réussite parfaite de l'expérience sont l'emploi d'une image solaire de petit diamètre, afin qu'une fente peu ouverte puisse contenir la protubérance entière, et l'usage de prismes très-dispersifs pour étaler beaucoup, et, par suite, pour diminuer, dans une grande proportion, la lumière étrangère à la protubérance.

Les procédés précédents, en permettant de voir les protubérances, donnent le moyen de constater que les renflements des lignes brillantes correspondent toujours au milieu d'une de ces apparences.

Les lignes brillantes des protubérances, quelle que soit leur réfrangibilité et leur degré d'intensité, se montrent *toujours*, si l'on observe avec un appareil bien réglé, *parfaitement droites et sans déviation aucune d'un côté ou*

de l'autre. Il ne m'a jamais été donné de vérifier les phénomènes si bizarres de distorsion et de déplacement que M. Lockyer signale dans plusieurs de ses Communications, ou du moins, toutes les fois qu'ils me sont apparus, j'ai pu constater la cause perturbatrice qui les produit.

Comme M. Lockyer déduit de ces phénomènes des conséquences importantes sur la vitesse des courants gazeux de l'atmosphère solaire, il ne sera pas inutile de discuter ici les causes qui peuvent l'avoir induit en erreur.

En premier lieu, M. Lockyer signale que la raie F n'occupe pas exactement la position de la ligne noire de Fraunhofer, qu'elle est transportée d'une petite quantité vers la partie la moins réfrangible du spectre, et qu'elle est bordée d'une ligne sombre du côté du violet. Cette apparence est naturelle, car la ligne F est en réalité une ligne double formée de la ligne de l'hydrogène et d'une ligne un peu plus réfrangible du fer. Au bord du Soleil la ligne F de l'hydrogène se renverse et la ligne du fer devient un peu diffuse, en sorte que l'intervalle que, sur le disque solaire, on peut distinguer entre les deux lignes s'efface, et que F paraît bordé d'une bande noire du côté du violet. De cette apparence peut, je crois, naître l'idée d'un transport.

Enfin — et c'est ici la plus importante des observations de M. Lockyer — cet astronome a vu la ligne F prendre parfois une forme courbe comme si, sur une portion de sa longueur, elle se trouvait transportée de une ou deux fois son épaisseur. De ce déplacement ou plutôt de ce changement partiel de réfrangibilité, M. Lockyer a conclu la vitesse de translation de la masse d'hydrogène incandescent qui donne naissance à cette ligne. Suivant une Note parvenue à la Société royale de Londres, le 8 juillet 1869, et publiée en novembre de cette même année ⁽¹⁾, cet astronome

⁽¹⁾ *Proceedings of the Royal Society*, t. XVIII, p. 74.

aurait pu observer des masses d'hydrogène se déplaçant avec les vitesses extrêmes suivantes :

Mouvement vertical,	40 milles par seconde...	= 64 kil.
Mouvement horizontal, 120	» ...	= 163 kil.

De pareilles observations, lorsqu'elles n'ont pu être vérifiées ni par le R. P. Secchi, ni par moi, peuvent-elles être admises, ou bien y a-t-il des motifs de les rejeter comme entachées d'erreurs ? C'est ce qu'il importe d'examiner.

Il est sans doute impossible de connaître avec certitude les vitesses que peuvent prendre les masses de gaz mises en mouvement par les différences de température entre deux points voisins de l'atmosphère solaire, ou par les phénomènes chimiques dont cette masse gazeuse est le siège, mais on peut néanmoins trouver une limite que ces vitesses ne peuvent dans aucun cas dépasser.

Les phénomènes chimiques nombreux et complexes qui se produisent dans la masse solaire doivent se traduire par des différences de température entre les divers points par des dégagements ou par des condensations de gaz ; on ne peut, dans l'état actuel de nos connaissances, en concevoir une manifestation plus large. Des dégagements de gaz ou des condensations établissent de suite des différences de pressions entre les points voisins, et c'est en vertu de cette différence de pression que les gaz comprimés s'écouleront vers les régions voisines pour y remplir le vide relatif qui s'y produit. Des différences de température produiront le même effet, car des gaz chauffés augmentent de tension, et des gaz refroidis voient diminuer la réaction qu'ils exerçaient sur les parties voisines.

On ne peut donc assigner aux mouvements des gaz solaires d'autre cause que des différences de pression, et le cas où les différences de pression donneront au mouvement

des gaz la vitesse la plus grande sera évidemment celui où le gaz comprimé s'écoulera dans le vide. Les formules de Bernoulli sur l'écoulement des gaz s'appliquent facilement à ce problème. On a, en effet, pour un gaz à la température t qui s'écoule dans le vide,

$$v = \sqrt{2G \frac{13,6 \times 0,76}{0,0013}} \times \sqrt{\frac{1 + \alpha t}{\delta_0}};$$

G intensité de la pesanteur à la surface du Soleil ;

α coefficient de dilatation du gaz ;

t température du gaz ;

δ_0 densité du gaz à zéro.

En appliquant cette formule au cas de l'hydrogène s'écoulant dans le vide à la surface du Soleil, on a, pour la vitesse en une seconde,

$$V = 2070 \text{ mètres } \sqrt{\frac{1 + \alpha t}{\delta_0}}.$$

Les calculs faits, on arrive aux résultats numériques suivants :

Vitesse d'écoulement de l'hydrogène dans le vide à la surface du Soleil.

Température du gaz.	Vitesse par seconde.
0°	7892 mètres.
1000°	17036 »
2000°	21352 »
3000°	27315 »

Les conditions d'écoulement d'un gaz à la surface du Soleil sont certainement différentes de celles que suppose la formule de Bernoulli. Néanmoins, les nombres précédents, plutôt trop forts que trop faibles, car, dans la réalité, les gaz ne s'écoulent pas dans le vide, donnent, suivant une remarque de M. Wolf, une idée de la grandeur des vi-

tesses avec lesquelles les gaz peuvent se mouvoir dans le Soleil, et on voit qu'il est difficile, impossible même, que cette vitesse dépasse 30 kilomètres par seconde.

En forçant les résultats autant qu'il est possible de le faire, nous n'arrivons donc qu'à la moitié ou au sixième des vitesses observées par Lockyer.

Il me semble qu'il y a dans ce fait une raison suffisante pour faire rejeter tout ce que M. Lockyer a écrit sur les changements de réfrangibilité des lignes du spectre observés dans l'intérieur des taches ou dans l'atmosphère solaire. Il y a sans doute un changement de réfrangibilité dans les lignes du spectre d'une tache provenant des mouvements de la matière qui forme les taches, mais ce changement est beaucoup trop petit pour être mesuré avec les spectroscopes dont nous pouvons disposer.

Le mode de construction du spectroscope de M. Lockyer, mode qui nous est connu par le Mémoire de cet astronome, inséré dans le tome CLIX des *Transactions philosophiques*, explique les illusions de cet observateur. L'appareil de M. Lockyer se compose de sept prismes de flint lourd, de 45 degrés, montés à demeure sur une plaque épaisse de cuivre, et susceptibles de tourner seulement autour de leur axe afin d'être mis au minimum de déviation. Aucun déplacement du prisme sur la plaque n'est possible. La lunette pour examiner le spectre est fixée en un point déterminé du support des prismes et peut seulement tourner autour d'un axe voisin de son objectif. Il résulte évidemment de cette construction que, pour regarder l'une ou l'autre extrémité du spectre, il faut placer la lunette obliquement par rapport à la direction des rayons lumineux dont on cherche l'image; or l'expérience journalière m'a prouvé que, dans ces conditions de dissymétrie de la vision, le moindre défaut dans l'objectif ou dans l'oculaire se traduisait par une duplication des lignes brillantes ou par une distorsion de ces lignes. Ces phénomènes singu-

liers disparaissaient d'ailleurs aussitôt que l'appareil se trouvait dans les conditions normales.

La fente dont les lèvres, loin d'être les intersections de deux plans, sont souvent deux surfaces cylindriques, peut aussi intervenir par de doubles réflexions dans la duplication et le déplacement des raies.

Enfin, n'est-ce pas faire un abus des prismes que d'employer sept prismes, plus un prisme à vision directe formé de cinq prismes alternes ? est-il possible que ces vingt-quatre surfaces soient assez mathématiquement planes pour n'introduire dans la vision du spectre aucun trouble ? Je ne le crois vraiment pas.

C'est du reste l'opinion du R. P. Secchi, que nombre des particularités vues par M. Lockyer seul peuvent être des erreurs d'observation. Voici comment s'exprime à ce sujet le savant directeur de l'Observatoire du Collège Romain. « Il pourrait bien se faire que tous ces mouvements et ces changements de réfrangibilité des raies, que M. Lockyer dit avoir observés, fussent des illusions. J'ai vu fréquemment des mouvements semblables se traduisant quelquefois par une duplication de la raie, mais je les ai attribués à l'agitation de notre atmosphère et à la chaleur solaire agissant sur la fente, qui peut bien produire des déviations accidentelles des rayons. Ordinairement, ces phénomènes disparaissent en mettant bien au foyer l'appareil. »

Pour terminer ces généralités sur les lignes brillantes de l'atmosphère solaire, il me reste à discuter l'existence d'une couche dans laquelle on obtiendrait un spectre continu sans lignes noires et sans lignes brillantes. C'est le R. P. Secchi qui, le premier, a indiqué que, sur les bords du Soleil, et par suite dans son atmosphère, il y a « un filet très-mince où un grand nombre de raies de Fraunhofer, et parfois toutes les plus faibles, disparaissent. »

Il est incontestable que, si dans une région du Soleil où

existe une protubérance contenant des vapeurs incandescentes de sodium, par exemple, on promène lentement la fente du spectroscopie de l'intérieur du disque vers l'extérieur, on devra, par simple raison de continuité, trouver une région où les lignes du sodium, qui sont noires sur le disque et brillantes dans l'atmosphère, auront totalement disparu; cela est nécessaire, car, lorsque les lignes sont noires, cela signifie que le pouvoir absorbant de l'atmosphère pour les lignes D est supérieur au pouvoir émissif des vapeurs incandescentes de sodium. Dans le cas des lignes brillantes, c'est au contraire le pouvoir émissif qui se trouve supérieur au pouvoir absorbant. Entre les deux positions, il y a nécessairement une situation moyenne dans laquelle le pouvoir émissif égale le pouvoir absorbant et où la double ligne D aura disparu.

Le même raisonnement s'applique aux lignes de l'hydrogène, du magnésium, du nickel, du fer et du baryum, que l'on est susceptible de voir lumineuses dans le spectre de l'atmosphère solaire.

On doit donc, en promenant la fente du spectroscopie sur les bords du disque du Soleil, trouver une position où les raies du sodium disparaissent, une position où les lignes du magnésium disparaissent, etc. Il en est effectivement ainsi, mais le phénomène est fort difficile à observer : il faut pour cela que l'air soit parfaitement calme et transparent.

J'ai pu, dans des circonstances très-favorables, constater la disparition d'une vingtaine de lignes brillantes, mais je n'ai jamais été assez heureux pour voir s'évanouir *toutes* les raies les plus faibles. Je crois que cette prétendue disparition tient à ce que, lorsque la fente est très-proche du bord solaire, il y a dans les images une telle agitation que la vision nette devient très-difficile et très-fatigante; cette difficulté de vision serait pour moi la cause de la non-observation des lignes noires les plus délicates. D'un autre

côté, la suite de ce Mémoire donne des preuves expérimentales et théoriques de ce que les diverses vapeurs incandescentes qui existent dans l'atmosphère solaire sont loin de s'y élever à la même hauteur, en sorte que la disparition des lignes qui leur sont propres doit s'effectuer pour des positions différentes de la fente.

La divergence entre l'opinion du R. P. Secchi et la mienne est que, suivant lui, il y a une position particulière de la fente pour laquelle un grand nombre de lignes noires du spectre disparaissent ; tandis que, d'après moi, cette disparition ne porte que sur un nombre limité de lignes et ne se produit pas sur toutes les lignes pour la même position de la fente. Les observations de l'astronome romain prouveraient qu'il existe dans l'atmosphère solaire des vapeurs incandescentes d'un grand nombre de substances, tandis que, suivant moi, il n'y aurait que celles du petit nombre des corps dont la présence est signalée par les quelques lignes brillantes du spectre des protubérances.

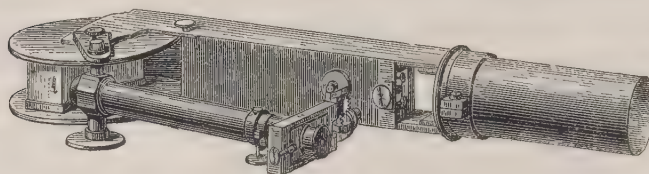
III. — DESCRIPTION DU SPECTROSCOPE EMPLOYÉ A L'ÉTUDE DE LA LUMIÈRE SOLAIRE.

Le spectroscope spécial que j'ai employé à l'étude de la lumière de l'atmosphère solaire a été construit de manière à obtenir une dispersion considérable, tout en n'employant qu'un petit nombre de prismes, et à réaliser en même temps les conditions théoriques nécessaires pour obtenir le spectre le plus pur possible.

Mon spectroscope se compose essentiellement d'une fente étroite, suivie d'un collimateur, de trois prismes très-dispersifs mobiles sur un plateau en cuivre bien dressé, et d'une lunette astronomique pour voir les raies. L'ensemble de l'appareil est dessiné dans la *fig. 5*, qui en montre la perspective. On voit immédiatement que le spectroscope est coudé et que les rayons de lumière, après les trois ré-

fractions, reviennent presque sur eux-mêmes. Une limite dans la déviation totale m'était d'ailleurs imposée par la nécessité de monter l'appareil sur le grand équatorial de l'Observatoire de Paris et de laisser à l'observateur une place suffisante pour sa tête.

Fig. 5.



Chacune des parties de l'appareil doit faire l'objet d'une description spéciale.

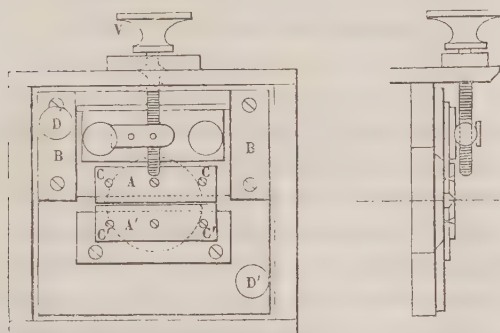
1° *Fente*. — Les fentes employées dans les spectroscopes sont presque toujours en cuivre, métal facile à travailler, mais dont l'emploi présente plusieurs inconvénients.

Quelles que soient les précautions avec lesquelles l'instrument est manié, des grains de poussière s'introduisent nécessairement entre les deux lèvres de la fente, et celle-ci doit être soumise à des nettoyages fréquents. Dans ces nettoyages, on promène tout le long de la fente les grains de poussière qui y avaient adhéré, et, le cuivre étant un métal mou, les lèvres de cette dernière sont bientôt couvertes de stries et émoussées. Si dans les premiers jours, les bords de la fente ont été, comme cela doit être, formés de l'arête vive de l'intersection de deux plans, ils sont bientôt remplacés par des surfaces cylindriques, et la lumière, pouvant se réfléchir plusieurs fois entre les surfaces de ces deux cylindres voisins, la ligne lumineuse unique que l'on avait cherché à obtenir fait place à plusieurs lignes lumineuses voisines. Chacune de ces lignes est l'origine d'un spectre, et l'image que l'on obtient dans la lu-

nette est la résultante, non pas d'un spectre unique, mais de plusieurs spectres très-voisins. Dans ces conditions, la pureté de l'image est évidemment diminuée. A la fente en cuivre, nous avons donc substitué une fente en acier ; ce dernier métal présente sur le cuivre l'avantage d'une plus grande dureté et puis les constructeurs ont pour le travailler des méthodes plus parfaites que pour le cuivre. Avec le soin extrême que M. Eichens met à toutes choses, il a su faire pour moi deux lames d'acier à biseau aigu et parfaitement rectiligne. Cette fente, à cause du poli des surfaces, s'encrasse moins qu'une fente de cuivre, et, par suite de la dureté de l'acier trempé, on peut la nettoyer sans crainte d'en diminuer les qualités.

Les deux lames d'acier A et A' (*fig. 6*) qui forment la

Fig. 6.



fente sont fixées par trois vis chacune sur deux plaques de cuivre C et C'. La plaque C est elle-même prise entre deux longues lames BB qui, taillées en biseau et formant coulisse, la guident dans les petits mouvements de droite à gauche et de gauche à droite, que l'on peut lui donner à l'aide de la vis de rappel V. Par suite de la longueur et du bon ajustement des guides B, par suite aussi de ce que la vis V tire sur la plaque C par l'intermédiaire de deux demi-

sphères, la lame d'acier A dans les petits mouvements qu'elle exécute reste toujours parfaitement parallèle à elle-même. La lame d'acier A' est, par l'intermédiaire des deux vis de la plaque de cuivre C', placée une fois pour toutes parallèlement à la plaque A.

Enfin, la lame de cuivre DD' sur laquelle est porté l'ensemble des diverses pièces de la fente peut recevoir de petits mouvements de rotation par suite de coulisses à travers lesquelles passent les vis D et D'. Ces mouvements de rotation ont pour but d'amener la fente à être rigoureusement parallèle aux arêtes réfringentes des prismes.

2° *Collimateur*. — Le collimateur, qui suit la fente, est formé d'une lentille achromatique de 290 millimètres de foyer et de 25 millimètres d'ouverture libre ⁽¹⁾. Le tube qui porte cette lentille peut recevoir de légers mouvements d'avant en arrière qui permettent de placer très-exactement la fente au foyer principal de la lentille.

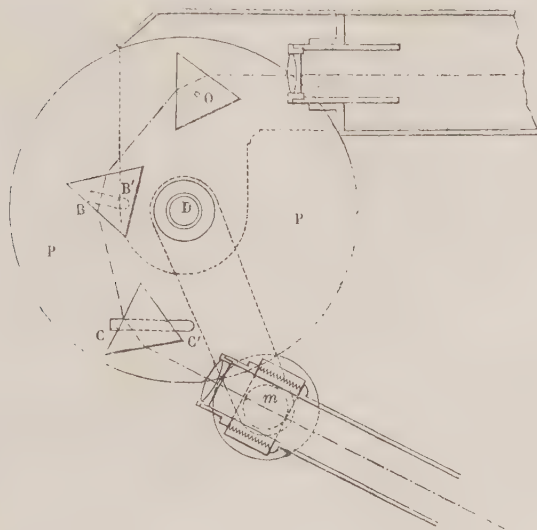
3° *Prismes*. — Les prismes, au nombre de trois, sont placés sur un plateau P circulaire (*fig. 7*) en cuivre parfaitement dressé, de 5 millimètres d'épaisseur et de 93 millimètres de rayon. Ces dimensions permettent de le considérer comme parfaitement rigide. Ce plateau est relié à la fente et au tube, qui permet de placer le spectroscopie sur l'équatorial par un tube carré formé de fortes feuilles de cuivre. Pour donner de la symétrie à l'instrument, un plateau P', semblable à celui qui doit porter les prismes, est fixé à la face opposée du tube quadrangulaire ; enfin, pour assurer d'une manière plus certaine la rigidité du système, les plateaux P et P' sont réunis à leur centre par un tube creux.

Les prismes sont sertis par leur base dans une boîte

(1) Entre le diamètre et la longueur focale du collimateur il y a le même rapport qu'entre le diamètre et la longueur focale de l'objectif de l'équatorial, en sorte que tous les rayons de lumière qui passent par la fente sont reçus sur le collimateur.

triangulaire en cuivre; les trois sommets de ces boîtes sont saillants et forment par suite trois petits pieds. Du centre de la boîte part, en outre, une tige filetée, sur laquelle se meut un écrou. C'est par l'intermédiaire de cette tige, assez longue pour traverser le plateau P, et de l'écrou, que les prismes sont fixés au plateau P, sur lequel ils posent alors par trois points.

Fig. 7.



Le premier des prismes se place au point O (*fig. 7*) dont la position excentrique est choisie de manière que le prisme, étant au minimum de déviation pour les rayons moyens du spectre, celui de ces rayons qui passe par le centre optique du collimateur tombe sur le milieu de la première face réfringente. Ce premier prisme ne peut que tourner sur lui-même.

Le second prisme, indépendamment d'un mouvement de rotation, peut se déplacer parallèlement à lui-même dans une glissière BB' dirigée vers le centre de la plaque P.

Par suite de ce double mouvement, on peut amener le prisme à être placé dans les rayons à étudier et le mettre ensuite au minimum de déviation. La glissière BB' porte d'ailleurs une graduation en millimètres, en sorte qu'il suffit de déterminer une fois pour toutes le point où le second prisme doit être placé pour recevoir sur le milieu de ses faces les rayons rouges, jaunes ou bleus réfractés par le premier.

Le troisième prisme est installé comme le second dans une glissière CC', oblique par rapport à la première.

La matière des prismes est un flint lourd, très-réfringent, mais un peu jaune, fabriqué chez Feil, dans les derniers mois de 1868. Les prismes ont été taillés par les soins de M. Duboscq, et si les faces, éprouvées par les procédés de Foucault, ne sont pas rigoureusement planes, elles atteignent cependant une perfection difficile à dépasser.

Les prismes ont 42 millimètres de hauteur, et leur section est un triangle isoscèle de 44 millimètres de côté et 40 millimètres de base; ils ne sont pas tout à fait équilatéraux.

Le tableau suivant fait connaître l'angle exact de chaque prisme, la déviation minimum et l'indice de réfraction des principales raies du spectre lumineux,

RAIES DU SPECTRE.	PRISME I. 55°. 51'. 18", 3.		PRISME II. 55°. 49'. 49", 5		PRISME III. 55°. 54'. 7", 6.		DÉVIATION totale.	INDICE moyen.
	Déviati.	Indice.	Déviati.	Indice.	Déviati.	Indice.		
A.....	50. 1. 2	1,7038	49. 58. 35"	1,7037	50. 2. 18"	1,7032	150. 1. 55"	1,7036
B.....	50. 24. 7	1,7081	50. 20. 13	1,7078	50. 27. 28	1,7079	151. 11. 48	1,7079
C.....	50. 37. 20	1,7105	50. 33. 36	1,7103	50. 40. 39	1,7103	151. 50. 51	1,7104
D.....	51. 14. 28	1,7174	51. 10. 21	1,7171	51. 17. 7	1,7176	153. 41. 56	1,7174
E.....	52. 4. 44	1,7266	52. 0. 35	1,7263	52. 7. 3	1,7262	156. 12. 22	1,7264
F.....	52. 51. 2	1,7351	52. 46. 49	1,7347	52. 53. 35	1,7347	158. 31. 26	1,7348
G.....	54. 23. 8	1,7516	54. 18. 48	1,7513	54. 26. 58	1,7511	163. 8. 54	1,7513
h.....	55. 10. 53	1,7600	55. 6. 22	1,7597	55. 15. 35	1,7590	165. 32. 50	1,7596
H ₁	55. 48. 13	1,7665	55. 48. 22	1,7670	55. 53. 15	1,7665	167. 29. 50	1,7667
H ₂	56. 0. 23	1,7687	55. 59. 15	1,7689	56. 4. 2	1,7684	168. 3. 40	1,7687

Avec le système des trois prismes la différence de déviation de A à H₂ ou la longueur du spectre est donc de 18°, 1', 45".

La comparaison des indices de réfraction précédents avec ceux des flints lourds de Faraday donnés dans le Mémoire de M. Baille montre que les verres de Feil sont plus réfringents que les verres du physicien anglais.

D'un autre côté le coefficient de dispersion $\frac{n_H - n_B}{n - 1}$ des divers prismes est :

Prisme I.....	0,0819
Prisme II.....	0,0827
Prisme III.....	0,0821
Moyenne.....	<u>0,0822</u>

en sorte que la dispersion est encore plus considérable que celle des flints les plus dispersifs généralement employés par les opticiens.

4° *Lunette astronomique.* — La lunette pour examiner le spectre est formée d'un objectif achromatique de 29 millimètres d'ouverture et d'environ 30 centimètres de distance focale; l'ensemble des pièces qui composent l'oculaire est mobile par l'intermédiaire d'une crémaillère, en sorte que la longueur de la lunette est variable dans une limite correspondante aux différences que la réfrangibilité inégale des rayons rouges et violets introduit dans la distance focale de l'objectif. Le grossissement de la lunette est d'environ 60 fois.

Si toutes les lignes brillantes de l'atmosphère solaire coïncidaient avec des lignes noires de Fraunhofer, leur position exacte pourrait se déterminer sans aucune mesure, car il serait facile de reconnaître celle des lignes d'un groupe qui devient brillante dans le spectre de l'atmosphère; mais certaines de ces lignes, par exemple celle du jaune, ne coïncident pas avec une raie noire, en sorte que leur position

par rapport aux lignes voisines ne peut se déterminer qu'à l'aide de mesures spéciales. Pour faire ces mesures nous avons fait disposer l'oculaire du spectroscopie sur le modèle d'un micromètre astronomique. Au foyer principal de l'objectif de la lunette se trouve donc placée une croisée de fils d'araignée, portée par une plaque mobile à l'aide d'une vis micrométrique dont la tête porte un tambour divisé en 100 parties égales; les tours complets de la vis étant d'ailleurs indiqués par un second tambour qui marche d'une division lorsque le premier a marché de 100.

L'oculaire proprement dit, celui avec lequel on regarde la croisée des fils et le spectre, est un oculaire positif de Ramsden porté sur une plaque de cuivre mobile, et peut, par conséquent, être toujours placé rigoureusement au-dessus de la croisée des fils : ceci est une condition indispensable à l'exactitude des pointés.

Pour déterminer la position d'une ligne brillante, on mesure alors à l'aide de la vis micrométrique dans quel rapport cette ligne divise l'intervalle de deux lignes noires dont la longueur d'onde est connue; et puis admettant que dans un petit intervalle la variation de la déviation est proportionnelle à la variation de la longueur d'onde, une simple proportion donne la longueur d'onde de la ligne brillante considérée.

L'ensemble de la lunette astronomique du spectroscopie est porté sur un axe de rotation m (*fig. 7*) mobile sur lui-même et mobile autour du centre D de la plaque porte-prisme. Des pinces fixent d'une part l'axe de rotation de la lunette sur les bras Dm et de l'autre ces bras sur la plaque P' symétrique du porte-prisme. Enfin pour obtenir la stabilité indispensable aux mesures micrométriques un bras à double fourchette se fixe sur la lunette au voisinage de l'oculaire et sur le spectroscopie dans le voisinage de la fente.

La lunette astronomique ayant un double mouvement de rotation autour d'un point voisin de son objectif, et ce der-

nier se déplaçant autour du centre de la plaque porte-prisme, on peut toujours la placer sur le prolongement de la direction prise par les rayons rouges, jaunes ou bleus de la lumière après leur réfraction au travers d'un, deux ou trois prismes, suivant qu'on juge convenable de faire usage d'une dispersion plus ou moins grande.

5° *Enveloppe du spectroscope.* — Pour placer les prismes dans un espace obscur et les préserver de toute lumière non introduite par la fente, une chemise de soie doublée à l'intérieur d'une étoffe noire et matte enveloppe, comme dans un sac, toute la partie réfringente de l'appareil, depuis l'extrémité du tube carré du collimateur jusqu'à la partie médiane de la lunette astronomique.

6° *Réglage du spectroscope.* — Le réglage du spectroscope, c'est-à-dire le parallélisme de la fente et des arêtes réfringentes des prismes a été obtenu, une fois pour toutes, en plaçant ces diverses lignes perpendiculairement au plan de la plaque porte-prisme. Dans ce but nous avons placé le spectroscope sur une table solide, et à l'aide de trois vis calantes et d'un niveau d'eau, nous avons, par tâtonnements, rendu la plaque porte-prisme parfaitement horizontale. Ceci fait, un fil à plomb très-court a été disposé aussi près que possible et en avant de la fente, et puis en regardant avec une lunette à court foyer, presque un microscope, le fil à plomb et la fente, on a réglé cette dernière de manière à lui être parallèle. La fente est ainsi devenue verticale et perpendiculaire au plan de la plaque des prismes.

Ce premier résultat obtenu, on a mis un prisme dans la seconde coulisse de la plaque porte-prisme et on s'est étudié à modifier par retouches successives les pieds de ce prisme jusqu'à rendre parallèles l'image directe et l'image réfléchie d'un petit fil à plomb accroché à la plaque symétrique du porte-prisme. Lorsque ce résultat a été obtenu pour les deux faces réfringentes, l'arête du prisme était perpendiculaire à la plaque, et par suite, parallèle à la fente.

Les trois prismes ont été successivement traités de la même manière.

Sans aucun doute ces retouches ont été laborieuses, mais les prismes étant une fois réglés ils le sont toujours et il n'y a pas nécessité d'un réglage nouveau chaque fois qu'on les déplace, comme cela aurait lieu si les prismes avaient été portés par des pieds à vis calantes.

On a d'ailleurs une preuve indirecte de ce que le réglage est sinon rigoureux, mais au moins très-suffisant par la netteté des images que donne l'instrument.

IV. — CATALOGUE ET APPARENCE DES DIVERSES LIGNES BRILLANTES DE L'ATMOSPHERE SOLAIRE.

§ 1. — *Catalogue des lignes brillantes de l'atmosphère solaire.*

Par les méthodes dont les pages précédentes renferment le développement, et à l'aide de notre spectroscopie spécial, nous avons, pendant l'année 1869, et surtout dans l'été de 1870, exploré avec assiduité les bords du Soleil. Le tableau suivant renferme le catalogue des diverses lignes brillantes dont nous avons constaté l'existence dans le spectre de l'atmosphère solaire; elles ont toutes été vues plusieurs fois et il ne saurait y avoir la moindre erreur sur leur position, qui a été déterminé par des mesures micrométriques.

Catalogue des lignes brillantes de l'atmosphère solaire.

LETTRES de Fraunhofer ou d'Angström.	NUMÉROS de l'échelle de Kirchhoff.	LONGUEUR d'onde.	SUBSTANCES.	OBSERVATEURS qui les ont signalées ET REMARQUES.
C.....	694,1	6561,8	Hydrogène.	Lockyer, 21 octobre 1868. (<i>Proceedings of the Roy. Society</i> , t. XVII, p. 91.)
D.....	1002,8 1006,8	5895,0 5889,0	Sodium.	Lockyer, 18 mars 1869 (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 352.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus de l'Académie des Sciences</i> , t. LXX, p. 1336.)
	1016,9	5874,0		Lockyer, 21 octobre 1868. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 91.) Secchi, 7 décembre 1868. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVII, p. 1123.) Janssen, 18 janvier 1869. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXIX, p. 112.) Rayet donne une mesure exacte de la réfrangibilité dans les <i>Comptes rendus</i> du 8 février 1869, t. LXVIII, p. 320. Le lieutenant Herschel, d'après les mesures qu'il avait faites pendant l'éclipse du 18 août 1868, avait reconnu que cette ligne ne pouvait coïncider avec les lignes du sodium, quoiqu'elle en fût très-voisine.
	1274,3	5534,1	Baryum.	Rayet, 1 ^{er} août 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXXI, p. 301.)
	1421,7	5370,4	Fer.	Rayet, 1 ^{er} août 1870.
	1430,2	5362,0	Fer.	Rayet, 1 ^{er} août 1870. Dans les <i>Comptes rendus</i> du 31 mai 1869, le R. P. Secchi dit qu'il a vu dans l'atmosphère solaire une ligne dont la longueur d'onde serait d'environ 5357. Je présume que c'est la ligne dont la position exacte est donnée ici.
	1474,0	5315,9	Fer.	Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings of Royal Society</i> , t. XVIII, p. 76.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
	1515,5	5275,0		Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings of Royal Society</i> , t. XVIII, p. 76.) Rayet, 1 ^{er} août 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXXI, p. 301.)
	1567,5	5233,4	Manganèse.	Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Rayet, 1 ^{er} août 1870. (<i>C.r.t.LXXI</i> , p. 301.)
	1613,8	5197,0		Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
b ₁	1634,1	5183,0	Magnésium.	Lockyer, 18 mars 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 352.) Secchi, 31 mai 1869. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVIII, p. 1243.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)

Catalogue des lignes brillantes de l'atmosphère solaire. (Suite.)

LETTRES de Fraunhofer ou d'Angström.	NUMÉROS de l'échelle de Kirchhoff.	LONGUEUR d'onde	SUBSTANCES.	OBSERVATEURS qui les ont signalées ET REMARQUES.
b_3	1648,7	5172,0	Magnésium.	Lockyer, 18 mars 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 352.) Secchi, 31 mai 1869. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVIII, p. 1243.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
b_3	1653,8	5168,3	Nickel.	Lockyer, 18 mars 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 352.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
b_4	1653,7	5166,6	Magnésium.	Lockyer, 18 mars 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 352.) Rayet, 1 ^{er} août 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
	1867,0	5017,6		Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
	1870,8	5014,2	Fer.	Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.) — Lockyer dans les <i>Proceedings</i> (t. XVIII, p. 76) donne une ligne brillante par 1871,5 de Kirchhoff ou 5015,5 de longueur d'onde; je présume que c'est celle dont il s'agit ici et dont il aurait donné une position fautive. C'est peut-être encore cette même ligne que le R. P. Secchi (31 mai 1869) place vers 1900 Kirchhoff.
	2001,5	4923,2	Fer.	Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Rayet, 16 juin 1870. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXX, p. 1336.)
F.....	2080,2	4860,6	Hydrogène.	Lockyer, 21 octobre 1868. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 91.) Secchi, 12 novembre 1868. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVII, p. 1123.) Janssen. Rayet, décembre 1868.
	2580,2	4471,2		Rayet, 4 janvier 1869. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVIII, p. 62.) C'est probablement la ligne vue par Herschel aux environs de 2596 de Kirchhoff. <i>Proceedings</i> du 16 juin 1869, t. XVII, p. 107.
	2796,2	4340,0	Hydrogène.	Secchi, 23 novembre 1868. Rayet, 4 janvier 1869. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVIII, p. 62.) Lockyer, 18 mars 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 352.) Herschel, 17 juin 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 507.)
h		4101,3	Hydrogène.	Rayet, 7 juin 1869. (<i>Comptes rendus</i> , t. LXVIII, p. 1321.) Lockyer, 10 juin 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 454.)

Le tableau qui précède renferme vingt-deux lignes brillantes. Nous avons indiqué pour chacune d'elles le numéro de l'échelle de Kirchhoff auquel elle correspond et sa longueur d'onde déduite des travaux d'Angström ou de Thalen. On a donc tout ce qui est nécessaire pour l'identification de ces lignes avec les lignes brillantes des métaux ou des gaz lorsque les longueurs d'onde des raies de ces derniers corps auront été déterminées avec une exactitude suffisante. Nous avons également donné dans la colonne des remarques les noms des observateurs qui ont signalé l'existence de ces diverses lignes et la date de la publication ; c'est une sorte d'historique de la découverte de chacune d'elles. Il est d'ailleurs bien évident que la découverte de ces lignes s'étant produite dans un temps très-court, chacun des observateurs qui y ont pris part est arrivé à des résultats qu'il croyait absolument nouveaux, quoique obtenus quelques jours auparavant par un autre astronome.

Il y a, par suite des circonstances atmosphériques et par suite des conditions diverses dans lesquelles se produisent les protubérances, une si grande variabilité dans le nombre des lignes brillantes de l'atmosphère solaire que, même après une étude de près de deux ans, on ne peut être certain d'avoir rencontré toutes les lignes brillantes que peut produire le transport à la base des protubérances des diverses vapeurs incandescentes du Soleil. Aussi je ne puis affirmer que la liste des pages précédentes dressée d'après mes seules observations soit absolument complète, et je crois devoir y joindre la nomenclature de quelques lignes signalées par M. Lockyer, le R. P. Secchi ou le lieutenant Herschel. Voici cette nomenclature et quelques remarques qui me paraissent devoir y être jointes.

NUMÉROS de l'échelle de Kirchhoff.	LONGUEUR d'onde.	SUBSTANCES.	REMARQUES.
655,0 1529,5	5264,0		Cette ligne entre B et C est signalée par le lieutenant Herschel (<i>Proceedings</i> , t. XVII, p. 507.) Voici les termes dont M. Lockyer se sert pour caractériser l'apparence de cette ligne : « L'éclat des lignes brillantes visibles dans le spectre solaire ordinaire est très-variable. » J'ai découvert une de celles-ci (1529,5 Kirchhoff) dans la chromosphère en même temps qu'elle était brillante dans le spectre solaire ordinaire. » LOCKYER, (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 75). En ce point du spectre solaire, il existe en effet une région qui, comprise entre deux groupes de lignes noires fortes et très-rapprochées, paraît douée d'un vif éclat; mais il n'y a pas là une ligne brillante de même espèce que les autres.
1989,5 2003,4 2031,2 2054,0	4933,4 4921,2 4899,3 4880,9	Baryum. Baryum.	Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Lockyer, 8 juillet 1869. (<i>Proceedings</i> , t. XVIII, p. 76.) Lockyer (8 juillet 1869) désigne cette ligne par ces mots : bande ou ligne brillante près de la ligne noire 2054,0 de Kirchhoff. Il me semble que M. Lockyer doit avoir été victime d'une illusion.

Les travaux de M. Lockyer ajouteraient donc à ma liste des bandes brillantes cinq autres lignes; enfin le lieutenant Herschel aurait pu, dans l'Inde, apercevoir une ligne qui n'aurait encore été vue par aucun observateur d'Europe.

§ 2. — Apparence particulière de diverses lignes brillantes.

1° *Ligne C de l'hydrogène.* — La ligne rouge C se voit avec une facilité extrême sur tout le pourtour du Soleil, même par un ciel brumeux; ceci tient à ce que cette ligne est la plus vive des 4 lignes principales du spectre électrique de l'hydrogène, et aussi à ce qu'elle se trouve dans une région peu lumineuse du spectre solaire.

Avec une fente perpendiculaire au bord solaire, C s'élève

plus haut que toutes les autres lignes brillantes ; elle se termine toujours en pointe à ses deux extrémités de manière à affecter l'apparence d'un fuseau. Parfois il semble que la ligne brillante se prolonge d'une manière notable sur le disque lumineux du Soleil.

Avec une fente tangente au bord solaire, la raie C présente très-fréquemment l'aspect d'une série de fuseaux mis bout à bout ; cette apparence est très-visible lorsque la fente coupe une région où se trouve la silhouette d'une chaîne de protubérances. Le degré d'ouverture de la fente a une grande influence sur le phénomène, car il disparaît lorsque la fente devient par trop étroite.

2° *Ligne D du sodium*. — Les lignes du sodium n'apparaissent brillantes que dans des circonstances exceptionnelles, et toujours sur une très-faible longueur. J'ai été assez heureux pour observer le phénomène deux fois, le 16 juin et le 23 juillet 1870 ; chaque fois il a persisté pendant plus d'une heure, en sorte que je crois en bien connaître les particularités.

L'observation du 16 juin a été faite sur le bord sud-ouest du Soleil et dans le voisinage de la partie du bord qu'une grosse tache circulaire allait atteindre dans deux ou trois jours. L'atmosphère était très-transparente quoique quelques nuages vinssent de temps à autre passer devant le Soleil.

Au point examiné il y avait une magnifique protubérance d'environ 3 minutes de hauteur ; sa forme générale était celle d'un tronc de cône (*fig. 8*) reposant par sa grande

Fig. 8.



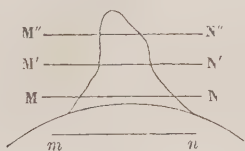
base sur le bord solaire. A droite et à gauche des protubé-

rances de faible hauteur, mais fort brillantes, témoignaient qu'une grande activité était concentrée dans cette région du Soleil.

Avec la fente tangente, les lignes C, D''' (voisines des lignes du sodium) et F brillaient d'un éclat inusité; toutes trois présentaient l'aspect de grains de chapelets. En promenant la fente du sommet à la base de la protubérance, je reconnus bien vite, et à ma grande satisfaction, que, pour une certaine position, les lignes D disparaissaient et même devenaient brillantes. Opérant alors avec lenteur, je constatai à plusieurs reprises et à loisir l'existence des phénomènes suivants.

La fente étant en *mn* (fig. 9) et empiétant encore sur le disque solaire, les lignes D' et D'' du sodium prennent un aspect baveux et diffus, analogue à celui qui caractérise les lignes noires du spectre du noyau d'une tache du Soleil; cependant l'appareil est rigoureusement au point, car les lignes noires appartenant au calcium et situées dans le jaune ont une grande finesse et une grande netteté.

Fig. 9.



La fente étant en MN auprès, mais en dehors, du bord visible du Soleil, les lignes du sodium sont toujours noires et diffuses. En un certain point, elles paraissent affaiblies; de noires, elles sont devenues grises; il semble qu'elles vont disparaître. A côté d'elles la ligne jaune D''' brille du plus vif éclat.

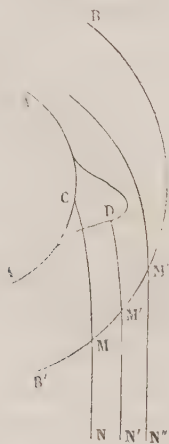
La fente ayant été éloignée du bord et portée en M'N' vers le milieu de la protubérance, les phénomènes changent d'une manière complète. La ligne D''' est toujours très-bril-

lante; les deux lignes D' et D'' du sodium ont complètement disparu sur une partie de leur longueur, et, en déplaçant un peu la fente, on trouve bien vite une position pour laquelle *les deux lignes du sodium deviennent brillantes dans la portion de leur longueur qui répond au centre de la protubérance.*

Enfin en éloignant la fente encore davantage, en la portant jusque vers le sommet de la protubérance, en $M''N''$, les lignes du sodium redeviennent noires et prennent l'aspect qui convient au spectre de la lumière diffuse du voisinage du Soleil; cependant la fente n'est pas encore sortie des limites de l'atmosphère solaire incandescente, car la ligne D''' est toujours brillante.

La succession des phénomènes précédents s'explique d'une manière facile. Imaginons une coupe du Soleil par un plan contenant son centre, la protubérance, et le milieu de la fente du spectroscopie (*fig. 10*). Soit AA' la couche qui

Fig. 10.



limite le disque apparent du Soleil, CD la partie de la protubérance qui contient des vapeurs incandescentes de sodium, BB' la surface qui limite la portion active et absor-

bante de l'atmosphère solaire; cette dernière surface est évidemment au-dessus du sommet de la protubérance, car on ne saurait admettre que les protubérances s'élèvent dans le vide. De la surface BB' à la surface AA' s'étend une atmosphère dans laquelle les vapeurs des divers corps sont rangées dans l'ordre de leurs densités croissantes; vers BB' se rencontrent les gaz permanents et légers, puis les vapeurs des métaux facilement volatilisables, et enfin à la base, vers AA' , les vapeurs des métaux réfractaires. C'est ce que M. Stoncy a parfaitement établi dans son remarquable Mémoire antérieur à août 1868.

Les rayons de lumière qui parviennent à la fente placée dans les positions MN , $M'N'$, $M''N''$ ont suivi à travers l'atmosphère solaire des trajets représentés sur la figure ci-jointe par les prolongements courbes des lignes MN , $M'N'$, $M''N''$. Les rayons MN se trouvent donc avoir traversé la partie inférieure de l'atmosphère solaire, et, dans cette région, qui doit contenir beaucoup de vapeurs de sodium, les vibrations dont la longueur d'onde correspond aux lignes D' et D'' auront été éteintes, en sorte que le spectre de la lumière MN doit présenter en noir les lignes de la soude.

Pour les rayons $M'N'$ qui proviennent de la partie supérieure de la protubérance, ils n'ont traversé que la région supérieure, et relativement froide, de l'atmosphère, dans lesquelles les vapeurs de sodium sont nécessairement plus rares, en sorte que, les vibrations de longueur d'onde répondant à D' et D'' n'ayant pas été éteintes, le spectre de la lumière $M'N'$ présentera les deux lignes brillantes du sodium.

Les rayons $M''N''$, qui forment leur image encore plus loin du bord visible du Soleil, passent au-dessus de la portion de la protubérance qui renferme du sodium incandescent, et leur lumière provient en grande partie de régions du Soleil placées en arrière de la protubérance et situées à un niveau inférieur à celui de son sommet, et où les vapeurs de

sodium ont une grande intensité. Le spectre des rayons $M''N''$ doit donc présenter les raies noires du sodium.

Tout le mécanisme de cette explication repose sur cette hypothèse, que le courant d'hydrogène incandescent qui s'élève de manière à former, au-dessus du bord lumineux du Soleil, la saillie d'une protubérance, emporte avec lui des vapeurs incandescentes de sodium et que ces vapeurs peuvent être entraînées au-dessus du niveau où, dans les conditions normales, s'arrêtent les vapeurs de ce métal. Il faut noter que, dans une protubérance, les vapeurs incandescentes de sodium s'élèvent toujours moins haut que l'hydrogène incandescent; en examinant, en effet, la protubérance précédente avec une fente perpendiculaire au bord solaire les lignes brillantes du sodium avaient à peine une longueur apparente d'un millimètre (*fig. 11*), tandis que la ligne C de l'hydrogène traversait le champ de l'instrument, sur une longueur de près d'un centimètre.

Fig. 11.



L'aspect des lignes du sodium, au moment où elles étaient interverties dans la portion de leur longueur répondant au centre de la protubérance, mérite une mention spéciale. La fente étant en $M'N'$, les lignes du sodium sont, vers les bouts du champ, fortement noires et bien limitées; en approchant de la protubérance, elles deviennent grises et diffuses; sur la protubérance elle-même, les parties brillantes terminées en pointes aiguës sont comprises entre deux traits obscurs. L'aspect est à peu près celui de la *fig. 12*.

Le 23 juillet 1870, sur le bord est du Soleil, dans la région de l'équateur, proche d'une tache qui commence à se mon-

trer sur le disque, le renversement des lignes du sodium a pu être observé une seconde fois. Comme le 16 juin, il ne se produisait que sur une longueur très-faible des lignes D. Les parties brillantes étaient toujours cernées de deux zones obscures.

Fig. 12.



Il semble donc que toutes les fois que les lignes du sodium apparaissent brillantes sur les bords du Soleil elles se présentent avec ce caractère spécial d'être cernées de part et d'autre par une bande obscure; dès lors il était intéressant de chercher si des expériences de laboratoire ne pourraient pas reproduire cette physionomie. Des essais assez nombreux ont été tentés dans ce but, et je suis enfin parvenu à reproduire à volonté le phénomène qui se présente sur les bords du Soleil.

La lumière Drumond, obtenue par la combustion d'un mélange d'oxygène et de gaz d'éclairage sur un bâton de chaux, donne toujours au spectroscope les lignes brillantes du sodium; ces lignes, dues à ce que la chaux renferme toujours quelques sels de soude, sont très-fines et bien terminées sur leur bord; si, dans l'espérance de les rendre plus brillantes, on place sur le bâton de chaux lui-même un fragment assez gros de soude caustique, les lignes brillantes s'étalent en quelque sorte, et l'on obtient, non plus deux lignes, mais deux bandes lumineuses. Une flamme très-chaude et très-chargée de soude émet donc des rayons dont les longueurs d'onde sont représentées par les nombres qui conviennent aux deux lignes D et les nombres voisins; il y a commencement de formation d'un spectre continu.

D'un autre côté, une flamme chargée d'une petite quantité de soude placée devant la lumière Drumond produit une

absorption limitée aux deux lignes D, qui paraissent alors noires et fines, tandis qu'une flamme *très-chargée* de vapeurs de sodium, par exemple celle que l'on obtient par la combustion à l'air libre d'un gros morceau de ce métal, donne, non pas deux lignes d'absorption, mais deux bandes d'absorption. L'extinction porte alors sur la lumière de réfrangibilité égale à celle de D' et D'' et aussi sur les lumières de réfrangibilité voisine. Ces bandes, assez analogues à celles de l'acide hypo-azotique, ne m'ont pas paru pouvoir se résoudre en lignes fines.

Si maintenant on place entre une lumière Drumond et un spectroscope un morceau de sodium brûlant à l'air, puis une flamme peu chargée de soude, cette dernière étant tout près de la fente, on verra les lignes brillantes D' et D'' cernées de bandes noires absolument comme sur le Soleil. En effet la flamme du sodium absorbe dans la lumière Drumond tous les rayons d'une longueur d'onde *voisine* de celle des lignes D, ce qui donne un spectre avec deux bandes d'absorption, et la flamme peu chargée de soude restitue les rayons d'une longueur d'onde *égale* à celle des deux lignes.

Dans une assimilation de mon expérience avec ce qui se passe sur le Soleil, la lumière continue que donne le bâton de chaux représenterait la lumière de la photosphère; la flamme de sodium, les couches inférieures de l'atmosphère solaire, très-chargées de sodium; la flamme peu chargée de soude, les couches supérieures de l'atmosphère, qui doivent contenir moins de sodium, et dont les rayons arrivent jusqu'à nous sans absorption sensible.

3° *Ligne jaune D''' voisine des lignes du sodium.* — Avec une fente tangente, cette ligne s'observe facilement sur tout le pourtour du Soleil, même par des temps qui ne sont point très-favorables. Comme elle se trouve dans la région la plus brillante du spectre solaire, on est obligé de l'examiner avec une fente rendue très-étroite, et il en résulte qu'elle apparaît en général sous la forme d'un trait lumi-

neux d'une épaisseur égale dans toute sa longueur ; cependant quand l'extinction de la lumière solaire par les vapeurs du ciel permet l'emploi d'une fente un peu large on reconnaît qu'elle est susceptible, comme la ligne rouge C, d'offrir l'aspect d'une série de fuseaux mis bout à bout.

Avec une fente perpendiculaire, la ligne D''' présente l'apparence d'un fer de lance terminé en pointe par les deux bouts.

Cette ligne jaune D''' ne coïncide avec aucune des fortes raies noires du spectre solaire, ce qui oblige à indiquer sa position par rapport aux lignes voisines.

Une première détermination de sa réfrangibilité a été faite pendant l'éclipse du 18 août 1868 par le lieutenant Herschel, mais les mesures naturellement précipitées de cet astronome suffisaient seulement à prouver qu'elle ne coïncidait pas avec les lignes du sodium. Plus tard, M. Lockyer (*Comptes rendus* du 26 octobre 1868) indiqua que cette ligne est de 8 ou 9 degrés de l'échelle de Kirchhoff plus réfrangible que la raie D. Enfin, dans les *Comptes rendus* du 23 novembre 1868, le R. P. Secchi écrit : « La ligne brillante jaune est à une petite distance de D, à environ une » largeur et demie de cette raie du côté du violet. »

En faisant usage d'un spectroscopé à vision directe et d'un micromètre à fils d'araignée, j'ai pu, dès les premiers jours de février 1869 communiquer à l'Académie des Sciences la position exacte de cette ligne brillante. D'après mes mesures, la distance de cette ligne à la plus réfrangible des lignes D est de 2,49 en prenant pour unité la distance des deux lignes du sodium. Sa position est donc la suivante.

	Échelle de Kirchhoff	Longueur d'onde
D'	1002,8	5894,99
D''	1006,8	5888,98
Ligne brillante	1016,8	5874,02

Cette ligne ne correspond à aucune substance chimique connue.

4° *Lignes du fer et du baryum.*—A certains jours, lorsque le ciel est particulièrement favorable et que le bord du Soleil présente de fortes protubérances, on aperçoit dans la région verte du spectre solaire, au voisinage de la raie E, un certain nombre de lignes brillantes, qui, pour la plupart, coïncident avec des lignes du fer. Avec une fente tangente, le renversement de ces raies ne s'obtient jamais que dans la région la plus basse de l'atmosphère solaire, au moment où quelques rayons solaires directs tombent déjà sur la fente. Avec une fente perpendiculaire, le renversement des lignes ne se produit que sur une longueur extrêmement faible. Il est donc prouvé que les vapeurs incandescentes du fer et du baryum et des autres corps qui donnent naissance aux lignes brillantes vertes de la région E n'atteignent, dans l'atmosphère solaire, qu'une très-faible hauteur.

Ces diverses lignes, sans distinction d'origine, apparaissent dans le champ du spectroscope avec une largeur uniforme extrêmement faible ; elles occupent toute la place des lignes noires et ne sont jamais entourées de deux zones obscures à la manière des lignes du sodium.

Les lignes brillantes de la région verte ne se rencontrent, nous l'avons déjà dit, que certains jours et dans des portions très-limitées de la circonférence du disque solaire ; en outre, l'apparition de l'une d'elles n'implique pas nécessairement l'existence des autres, car, bien souvent, ainsi que cela résulte du tableau suivant, on ne voit que quelques-unes d'elles.

Tableau des jours où les lignes brillantes du fer, du baryum, ont été observées. (Année 1870.)

LONGUEURS D'ONDE DES LIGNES.									
5534,1 Ba ryum.	5370,4 Fer.	5362,0 Fer.	5315,9 Fer.	5275,0	5233,4 Manganèse.	5197,0	5017,6	5014,2 Fer.	4923,2 Fer.
			16 juin.			16 juin.	16 juin.	16 juin.	16 juin.
			17 juin.				17 juin.	17 juin.	
			23 juin.						
			28 juin.						
			5 juillet.						5 juillet.
			6 juillet.						
			22 juillet.						
23 juillet.	23 juillet.	23 juillet.	23 juillet.	23 juillet.	23 juillet.	23 juillet.			

De toutes ces lignes la raie du fer, dont la longueur d'onde est 5315,9 et qui précède de peu la ligne E, est celle que l'on rencontre le plus facilement; souvent même elle existe seule. Il est d'ailleurs digne de remarque que le spectre solaire contenant environ 450 lignes noires attribuées au fer, on ne retrouve dans le spectre des protubérances que 5 de ces lignes brillantes; et ce ne sont point celles qui se montrent avec le plus d'intensité lorsque le fer est brûlé par une étincelle électrique.

5° *Ligne du magnésium.* — Le magnésium est représenté dans le spectre solaire lumineux par le groupe des lignes b_1, b_2, b_4 ; ces trois raies peuvent se renverser dans les protubérances, mais elles ne sont jamais brillantes que dans une région restreinte du disque solaire, en sorte que l'apparition des lignes du magnésium est, comme l'apparition des lignes du sodium et du fer, un phénomène local et accidentel.

Avec une fente tangente, les lignes de magnésium ne deviennent brillantes que sur une faible longueur; avec une fente perpendiculaire, la partie lumineuse est toujours très-courte, environ $\frac{1}{5}$ de la longueur de C; les vapeurs incandescentes de ce métal ne s'élèvent donc que très-peu au-dessus de la couche brillante du Soleil.

Des trois raies b_1, b_2, b_4 , les deux premières deviennent assez souvent brillantes; mais je n'ai pu qu'une seule fois (23 juillet 1870) constater d'une manière bien évidente le renversement de la ligne b_4 . Dans cette circonstance, la portion brillante de b_4 était d'ailleurs notablement plus courte que la portion brillante de b_1 et de b_2 .

Lorsque les lignes de magnésium deviennent lumineuses, le phénomène se produit avec des circonstances identiques à celles qui accompagnent le renversement des lignes du sodium, c'est-à-dire que la partie brillante en forme de fuseau est entourée de toute part d'une zone obscure.

Après les lignes de l'hydrogène, les deux premières raies

du magnésium sont celles dont on observe le plus fréquemment le renversement.

6° *Ligne F de l'hydrogène.* — La ligne F est, avec C et D''', la troisième raie solaire qui devient brillante sur tout le pourtour du Soleil; il faut cependant pour cela que le ciel ne soit pas trop chargé de vapeur d'eau.

Lorsqu'on examine F avec un spectroscopie dont la fente est tangente au bord du Soleil, cette ligne présente un aspect analogue à celui de C; on y voit nettement l'apparence de chapelet ou de fuseaux bout à bout: cet aspect est d'autant plus sensible que la fente est plus large.

La clarté de la ligne brillante F surpasse notablement celle de la région avoisinante du spectre, en sorte qu'avec une ouverture convenable de la fente on arrive à voir les protubérances avec leurs formes et leurs principaux détails; la vision est cependant moins facile qu'avec C.

Si l'on dirige la fente du spectroscopie perpendiculairement au bord solaire, la ligne F apparaît brillante et en forme de fer de lance terminé en pointe à ses deux extrémités; sa longueur est en général assez grande, mais elle reste toujours un peu inférieure à celle de la ligne C.

7° *Ligne voisine de G (H γ de l'hydrogène).* — Cette ligne s'observe, comme la précédente, sur tout le pourtour du Soleil; mais il faut pour cela que le ciel soit d'une grande transparence. En outre, il est convenable de faire usage d'une fente un peu large et de réduire à deux le nombre des prismes. La ligne brillante H γ est toujours plus courte que la ligne F; elle présente parfois l'aspect de chapelet.

8° *Ligne h.* — Cette raie, la plus réfrangible du spectre de l'hydrogène, est toujours d'une vision difficile, aussi ne la rencontre-t-on que dans les journées particulièrement belles, et n'est-elle visible que sur certains points des bords du Soleil.

L'ensemble des remarques précédentes sur l'éclat et la

longueur des diverses lignes brillantes de l'atmosphère solaire, résultat d'une longue et patiente étude de sa lumière propre, peut servir à faire connaître la hauteur relative à laquelle s'élèvent les diverses vapeurs incandescentes; cette hauteur est en effet indiquée par la longueur des lignes brillantes observées avec une fente perpendiculaire au bord solaire. Ces considérations montrent que l'hydrogène incandescent est le gaz qui s'élève le plus haut, puis viennent les vapeurs de magnésium et de sodium, puis les vapeurs de fer.

V. — ÉTUDE DE LA LUMIÈRE DES TACHES SOLAIRES.

L'exploration méthodique des bords du disque solaire démontre sans peine que la couche caractérisée par les lignes brillantes des protubérances, ou au moins par les lignes brillantes de l'hydrogène, existe sur tout le pourtour du Soleil et doit par conséquent former autour de la masse lumineuse une enveloppe continue, quoiqu'elle ne soit en général visible que sur son contour apparent.

L'explication de ce fait résulte de l'examen attentif du procédé même qui a conduit MM. Janssen et Lockyer à l'observation journalière des lignes des protubérances, et M. Zeclner à la vision même de ces appendices.

Lorsque la fente du spectroscope est placée sur l'image d'une région du disque solaire où existe une protubérance, la lumière qui pénètre dans l'appareil par cette fente étroite a pour origine : 1° la lumière du Soleil réfléchie ou réfractée par l'atmosphère solaire ou notre atmosphère; 2° le rayonnement direct de la protubérance dont l'image se forme sur la fente. La lumière provenant du Soleil renferme des rayons de toutes les réfrangibilités, et son passage dans les prismes l'étale sur toute l'étendue du spectre; l'illumination d'une région du spectre de largeur égale à celle de la fente n'est alors qu'une fraction minime de l'illumina-

tion de la fente, et cette fraction peut être rendue aussi petite qu'on voudra en augmentant d'une manière convenable la dispersion du système des prismes. La lumière de la protubérance, supposée pour un instant ne renfermer que de l'hydrogène pur, ne contient que les rayons de réfrangibilités égales à celles de C, F, H γ et h : en tout des rayons de quatre réfrangibilités. Cette lumière formera donc, après son passage à travers les prismes, quatre images de la fente, et l'illumination de chacune de ces images sera, en supposant les quatre lignes également brillantes, le quart de l'illumination de la partie de la protubérance dont l'image se forme sur la fente. Nous nous trouvons donc en présence d'images rouges, bleues, violettes et indigo de la protubérance dont l'éclat est constant, quel que soit le nombre des prismes employés, et d'un spectre solaire dont l'éclat peut être indéfiniment diminué. En augmentant convenablement la dispersion des prismes, on peut donc arriver à faire prédominer la lumière de la protubérance sur celle du spectre, et, par suite, à rendre visibles les lignes brillantes des gaz incandescents dont elle est formée.

L'artifice qui permet de voir en tout temps les lignes lumineuses des protubérances est donc le même que celui qui permet de voir les étoiles en plein jour avec de grandes lunettes et de forts grossissements. On sait, en effet, que c'est parce que l'image du ciel est étalée par l'oculaire, tandis que celle de l'étoile ne peut l'être, que ces astres sont visibles en plein midi.

Nous devons aussi faire remarquer que c'est parce que la lumière des nébuleuses et des comètes se résout en un très-petit nombre (trois) de lignes brillantes, qu'il est possible d'étudier le spectre de ceux de ces astres dont l'éclat ne surpasse pas la huitième ou la neuvième grandeur, tandis que la lumière d'étoiles de même classe échappe à tous nos moyens d'examen spectroscopique.

Les remarques précédentes montrent que toute cause qui

diminuera dans une proportion notable la lumière qui, émise par la photosphère solaire, tombe sur la fente, facilitera la vision des lignes brillantes de l'enveloppe hydrogénée du Soleil. Or il existe sur le Soleil des régions, *les taches*, où la lumière de la photosphère est considérablement diminuée, puisqu'elles apparaissent presque noires; on devait donc espérer qu'en amenant l'image des taches sur la fente, le spectre de la lumière de cette partie du Soleil laisserait voir quelques-unes des lignes lumineuses propres à l'hydrogène incandescent et aux protubérances.

L'expérience a pleinement confirmé ces prévisions. Le R. P. Secchi, moi-même, et puis enfin M. Lockyer, nous avons été assez heureux pour constater l'existence de la ligne brillante C dans le spectre de la lumière de certaines taches solaires, remarquables par leur grandeur ou l'activité de leurs déformations.

L'observation la plus ancienne a été faite par le R. P. Secchi, le 12 avril 1869 ⁽¹⁾, sur une tache à double noyau. Le renversement C se produisait *sur un pont* de matière blanche qui séparait les noyaux.

Ma première observation remonte au 12 avril 1870; elle a été faite sur une immense tache, centre d'un groupe très-étendu, qui, à cette date, était situé dans la région sud-ouest du disque solaire. La tache avait un noyau circulaire très-obscur, et le renversement de la ligne C était visible *sur le noyau lui-même* ⁽²⁾. Des circonstances atmosphériques défavorables empêchèrent de poursuivre l'étude de cette tache.

Des observations beaucoup plus complètes ont pu ensuite être faites sur une même tache les 17, 19, 20 et 21 mai 1870.

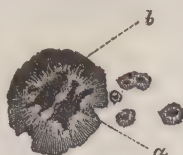
17 mai. A cette date on remarque, à la hauteur de l'é-

⁽¹⁾ *Troisième Mémoire sur le spectre de la lumière des corps célestes*, p. 37.

⁽²⁾ *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 18 avril 1870.

quateur solaire et dans le voisinage du bord est du disque, une tache de forme circulaire (*fig. 13*), mais pourvue

Fig. 13.



de deux noyaux *a* et *b* allongés et de forme compliquée; entre les deux noyaux existe une brillante facule. La fente du spectroscope étant placée de manière à couper à la fois l'image des deux noyaux, la ligne C devient brillante dans la région du spectre qui répond au noyau *a*, et reste noire dans la région qui répond à *b*. Sur la facule, entre les deux noyaux, la raie C disparaît, mais ne se renverse pas. Il faut noter que, le 17 mai, le ciel est brumeux, et par conséquent assez défavorable à cause de la grande quantité de lumière diffuse.

18 mai. Ciel couvert.

19 mai. Beau temps. La tache qui, depuis le 17, a marché vers le centre du Soleil, a en même temps pris un aspect assez différent de celui avec lequel elle avait été observée la première fois. Le noyau oriental *a* (*fig. 14*) s'est

Fig. 14.

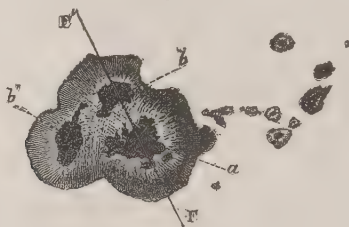


allongé, le noyau *b* est divisé en deux parties *b'* et *b''*, et la pénombre a perdu son contour circulaire. La ligne C se rencontre toujours dans le noyau *a* et reste noire dans les deux autres. La fente étant placée suivant *FF'*, le renverse-

ment se produit dans la longueur CD et se prolonge de D vers E sur une partie de la pénombre. Dans la région correspondant au pont de matière blanche situé entre le noyau *a* et les deux noyaux *b'* et *b''*, la ligne C conserve son aspect normal.

20 mai. Ciel beau. La tache conserve ses trois noyaux, et chacun d'eux a pris une forme grossièrement circulaire; la pénombre est en même temps devenue à peu près ronde; enfin, la grande tache se prolonge vers l'est par une queue de taches plus petites (*fig. 15*).

Fig. 15.



La fente étant placée en FF' de manière à couper à la fois le noyau *a* et le noyau *b'*, on constate que la ligne C devient brillante dans les deux noyaux à la fois, tandis qu'elle reste noire dans le pont brillant entre les deux noyaux. L'apparence du spectre, qui est semblable à celle de la *fig. 16*, montre que le milieu des lignes brillantes ne

Fig. 16.



coïncide pas avec le centre des noyaux, et qu'elles se prolongent surtout vers la portion de pénombre située du côté extérieur du noyau.

21 mai. Le ciel est très-blanc, mais cependant pas assez brumeux pour empêcher les observations. Il est impos-

sible de voir le renversement de la ligne C dans aucun des trois noyaux.

Les jours suivants, le spectre des taches ne présente plus rien de remarquable.

Les observations précédentes vérifient les remarques du R. P. Secchi, mais elles diffèrent en un point de celles de l'astronome romain : tandis que, pour lui, le renversement de la ligne C s'est produit sur un pont de matière blanche, je l'ai toujours constaté sur le noyau des taches.

En terminant ce paragraphe, je dois ajouter que, pendant des recherches assidues qui ont duré plus de six mois, je n'ai rencontré que deux taches présentant le renversement de la ligne C, et que, par conséquent, les circonstances favorables à ces observations ne se présentent qu'à de longs intervalles. Je dois encore dire que C est la seule ligne dont il m'ait été possible de constater le renversement.

Si le renversement de la ligne noire C dans le spectre des taches est un phénomène qui ne s'observe qu'accidentellement, la lumière des taches diffère d'une manière constante et marquée de la lumière générale de l'astre. Dans le spectre du noyau d'une tache, les lignes noires sont plus marquées que dans le spectre solaire ordinaire, et quelques-unes d'entre elles deviennent diffuses. Ce renforcement ne porte toutefois que sur certaines lignes, en particulier sur celles du sodium, du calcium et du fer ; il n'est donc pas possible de l'attribuer à un affaiblissement général de la lumière, et il faut y voir la preuve d'une absorption particulière de la matière qui existe dans les taches. Le spectre des pénombres est intermédiaire entre le spectre solaire ordinaire et le spectre de la lumière des noyaux.

La comparaison attentive et complète du spectre de la lumière des taches avec le spectre ordinaire est un travail laborieux que je n'ai pas encore pu terminer, et sur lequel je me réserve de revenir plus tard.

VI. — CONSTITUTION PHYSIQUE DU SOLEIL.

En commençant ce Mémoire, j'ai résumé en quelques lignes les hypothèses déjà anciennes d'Arago et de Kirchhoff sur la constitution physique du Soleil, et après avoir montré que ces hypothèses créent des difficultés insurmontables pour l'explication des observations récentes, j'ai indiqué brièvement les théories de MM. Faye et Stoney. Cet exposé sommaire était indispensable à la définition exacte de certains termes qui sont revenus sans cesse dans les chapitres précédents, mais il reste maintenant à comparer de près les résultats de l'observation avec les conséquences des théories des deux derniers astronomes.

Les travaux de M. Faye ont été publiés en janvier 1865 dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*; ceux de MM. Stoney ont été présentés à la Société royale de Londres en juin 1867.

M. Faye, remarquant d'abord que, par les divers caractères de sa lumière, le Soleil ne diffère pas essentiellement des étoiles, cherche pour ces astres une origine commune, et la trouve dans la réunion successive de la matière cosmique sous l'empire de l'attraction universelle.

Cette condensation successive de la nébuleuse solaire, condensation qui continue certainement de nos jours, a pour conséquence nécessaire : 1^o un mouvement de rotation plus ou moins lent de toute la masse; 2^o la destruction d'une énorme quantité de force vive, remplacée par un énorme développement de chaleur.

L'observation du mouvement des taches confirme la rotation de la masse solaire.

Quant à la quantité de chaleur développée par la condensation, le calcul rigoureux en est évidemment impossible, mais Helmholtz, à l'aide de données plausibles sur les éléments physiques de la question, a pu montrer que

cette quantité de chaleur était énorme et suffisante pour rendre compte du rayonnement solaire pendant plusieurs milliers d'années.

Vu l'énorme chaleur dégagée par cette condensation, chaleur dont une partie très-considérable est encore accumulée dans le Soleil, il est probable que le plus grand nombre des matières qui constituent ce corps sont encore à l'état gazeux. L'hypothèse que le Soleil est un corps généralement gazeux, se trouve corroborée par deux observations importantes : 1° l'irrégularité qui se manifeste dans le mouvement des taches et qu'on ne saurait expliquer d'une manière quelque peu satisfaisante, qu'en admettant qu'elles sont situées au milieu d'une masse de gaz ; 2° la présence de raies noires dans le spectre solaire, qui démontre que la lumière du Soleil traverse, avant d'arriver jusqu'à nous, des couches gazeuses dont la température est assez élevée pour qu'elles renferment des vapeurs de sodium, de potassium, de calcium de fer, de titane,.... Comme d'ailleurs on ne peut se refuser à admettre que, dans un corps chaud et isolé dans l'espace, le centre est à une plus haute température que la périphérie, on est conduit à penser que la température du centre du Soleil, plus élevée que celle nécessaire à la vaporisation du fer et du titane, est assez haute pour maintenir à l'état gazeux tous les corps connus, même les plus réfractaires.

D'autre part, la faible densité moyenne du Soleil (1,5 de celle de l'eau) s'explique très-bien, si l'on admet que cette masse est presque entièrement gazeuse, tandis qu'elle se comprend difficilement, si l'on suppose qu'il peut y avoir dans le Soleil un noyau central solide ou liquide.

Je pense donc qu'il faut, avec M.M. Faye, Stoney et tous les astronomes modernes, admettre que le Soleil est un amas de matières presque exclusivement gazeuses.

Dans la masse gazeuse qui formait primitivement la nébuleuse solaire, la surface s'est refroidie par rayonnement, en sorte, dit M. Faye, « que si l'action des forces molé-

» culaires et atomiques de la cohésion et de l'affinité dis-
 » paraît dans la masse interne, elle commence à reparaitre
 » à la surface ; là, dans un mélange gazeux des éléments les
 » plus variés, le jeu de ces forces donnera naissance à des
 » précipitations (Herschel), à des nuages (Wilson), de
 » particules non gazeuses susceptibles d'incandescence,
 » dont nos flammes gazeuses nous offrent tant d'exemples.
 » Bientôt ces particules, sollicitées par la gravité, gagne-
 » ront en tombant les couches inférieures, où elles finiront
 » par repasser à l'état de gaz, et seront remplacées, dans
 » les couches superficielles, par des masses gazeuses ascen-
 » dantes qui viendront y subir le même sort. L'équilibre
 » général sera donc ainsi troublé, dans le sens vertical
 » seulement, par un échange incessant de l'intérieur à la
 » superficie, et, comme la masse interne ainsi mise en rap-
 » port avec l'extérieur est énorme, on conçoit que l'émis-
 » sion superficielle, puisant incessamment dans le vaste
 » réservoir de la chaleur centrale, constitue une phase de
 » très-longue durée et d'une grande constance.
 » Ainsi la formation d'une photosphère, limite appa-
 » rente du Soleil, est une simple conséquence du refroi-
 » dissement. »

Cette conception du mode de production et d'entretien
 de la photosphère permet à M. Faye de rendre compte
 non-seulement de la formation des taches solaires, mais
 aussi des irrégularités de leurs mouvements en longitude.
 Pour le savant astronome français, les taches sont produites
 là où, les courants ascendants prenant une grande intensité,
 la matière photosphérique est momentanément dissipée.
 Les facules, presque toujours signes précurseurs des taches,
 sont les nuages de la photosphère déjà soulevés au-dessus
 de leur niveau ordinaire par les courants ascendants, mais
 non encore dissipés. La diminution dans la vitesse angu-
 laire des taches, diminution qui est proportionnelle au si-
 nus carré de la latitude, résulte de ce que la profondeur

d'où proviennent ces courants serait proportionnelle au sinus carré de cette latitude.

La théorie de M. Faye, que nous venons d'analyser, se présente avec un caractère de simplicité remarquable; elle explique sans peine, et c'est son principal et incontestable mérite, la continuité de la radiation solaire; elle rend compte de l'existence et de l'aspect des taches, et par une hypothèse plausible, elle explique les irrégularités de leurs mouvements.

Cependant l'explication de la formation des taches est sujette à quelques objections.

En premier lieu, les taches, dues aux courants gazeux ascendants qui ne peuvent manquer de s'établir dans la masse gazeuse du Soleil, se trouvent avoir une cause exclusivement interne, et, comme il semble que, par raison de symétrie, ces courants ascendants doivent se distribuer d'une manière à peu près régulière sur toute la surface de la photosphère, les taches devraient, comme les facules, se montrer dans toutes les régions du Soleil. Or l'observation prouve qu'à de très-rares exceptions près, la latitude héliocentrique des taches est inférieure à 35 degrés.

En second lieu, comme nous savons aujourd'hui que la photosphère est dans son entier surmontée d'une couche d'hydrogène incandescent, cette couche d'hydrogène devrait être soulevée au-dessus de son niveau moyen, partout où il existe des taches, en sorte que les protubérances devraient correspondre aux taches, ce que l'observation montre n'être pas exact.

L'explication des taches, telle que la donne M. Faye, devra donc être modifiée ou remplacée.

Quoi qu'il en soit, nous retiendrons des théories de l'astronome français que le Soleil se compose de trois parties essentielles : 1° la nébuleuse intérieure, mélange de gaz et de vapeurs; 2° la photosphère formée par la condensation des vapeurs précédentes; 3° une atmosphère extérieure ab-

sorbant formée des gaz permanents et des vapeurs qui n'ont pas encore subi la condensation.

Avec M. Stoney pour guide, nous pouvons aborder l'étude plus détaillée de la constitution physique de ces diverses couches.

La phase de son existence, dans laquelle se trouve aujourd'hui le Soleil, dure depuis un tel nombre d'années, qu'il a dû s'établir dans son intérieur une sorte d'équilibre, instable à la vérité, mais qui cependant ne permet plus aux matières qui le forment d'être distribuées dans un ordre quelconque.

L'analyse spectrale a prouvé que le Soleil renferme à l'état de vapeur de l'hydrogène, du magnésium, du sodium, du titane, du fer, etc., corps dont les raies caractéristiques se retrouvent en noir dans le spectre solaire; dans une masse gazeuse semblable dont la température décroît en allant de l'intérieur à l'extérieur, les gaz doivent être rangés dans l'ordre de leurs densités de vapeur, ou du poids atomique de leurs éléments chimiques. En allant de l'extérieur à l'intérieur, on rencontrera donc successivement :

L'hydrogène, équivalent.....	1
Le magnésium, »	12
Le sodium, »	23
Le titane, »	25

Le chrome, le manganèse, le fer, le calcium, le nickel, le cobalt, dont les équivalents sont compris entre 27 et 29;

Le cuivre et le zinc dont les équivalents sont entre 31 et 33;

Le baryum, dont l'équivalent est 68.

Cet ordre pourrait d'ailleurs être quelque peu troublé par la condensation des vapeurs de ces corps, sous l'influence du refroidissement extérieur, mais l'ordre ne saurait être bien différent.

Ces prévisions sont confirmées par plusieurs observations spectroscopiques.

Chacun des gaz qui entre dans l'atmosphère solaire est, dit M. Stoney, opaque pour les rayons qu'il émet, lorsqu'il est incandescent, de telle sorte que toute la lumière de cette longueur d'onde particulière, qui est émise par la photosphère, ou les couches plus profondes et plus échauffées, est arrêtée par son passage au travers de ce gaz, et remplacée, par la lumière beaucoup plus faible qui émane de la couche la plus élevée et la plus froide de ce gaz; s'il est vrai que les corps de l'atmosphère solaire sont rangés dans l'ordre indiqué précédemment, l'hydrogène doit être celui dont les couches supérieures sont les plus froides, et puis vient le magnésium, et puis le sodium. Or, c'est ce que vérifie l'observation; car les raies de l'hydrogène, du magnésium et du sodium émanent d'une région si froide, que les lignes de ces corps sont très-noires, quelle que soit leur place dans le spectre; ou, en d'autres termes, la lumière émise par les couches supérieures de ces gaz est toujours si faible, qu'elle est insensible devant le rayonnement de la photosphère. D'un autre côté, le calcium et le fer produisent des lignes qui sont noires, si elles tombent dans le violet ou l'indigo, mais qui sont moins noires dans le bleu, et qui émettent des quantités de plus en plus grandes de lumière dans le vert, le jaune, l'orangé et le rouge, c'est-à-dire quant on parcourt le spectre dans l'ordre inverse des couleurs que prend un corps qui s'échauffe.

Les observations contenues dans ce Mémoire sont une confirmation directe et absolue des idées de M. Stoney sur l'ordre dans lequel sont rangés les corps de l'atmosphère solaire. L'hydrogène s'y élève en effet à une telle hauteur, qu'il est partout et toujours visible par ses lignes brillantes, et qu'avec une fente perpendiculaire, les lignes de l'hydrogène sont toujours (avec la ligne jaune de substance inconnue) les plus longues. Les lignes du magnésium sont, après celles de l'hydrogène, les lignes brillantes qui se voient le plus aisément et avec une fente perpendiculaire,

elles ont une longueur sans doute bien moindre que celles de l'hydrogène, mais en général supérieure à celles des lignes brillantes des autres corps; les vapeurs de magnésium sont donc, de toutes les vapeurs métalliques du Soleil, celles qui arrivent à la plus grande altitude. D'après M. Stoney, les vapeurs métalliques qui, après celles du magnésium, devraient s'élever le plus haut, seraient celles du sodium; en réalité, la longueur des lignes du sodium est souvent inférieure à celle de la ligne très-brillante du fer, située au voisinage de E par 5315,9 de longueur d'onde et les lignes brillantes du sodium s'observent moins facilement que celle du fer, en sorte que, d'après les observations, il semblerait que les vapeurs de fer s'élèveraient plus haut que celles du sodium, et que, pour ces deux métaux, l'ordre de M. Stoney devrait être interverti. Je ne pense pas que cette dernière conséquence puisse être admise, car la rareté du renversement des lignes du sodium et la faible longueur sur laquelle il se produit alors me paraît trouver une explication suffisante dans cette considération, que les lignes du métal alcalin se placent dans la région la plus lumineuse du spectre, et qu'elles ne peuvent, par suite, apparaître brillantes que dans les cas exceptionnels où elles ont une intensité remarquable. Les lignes du titane, du manganèse, du baryum et du nickel sont très-rarement visibles, et l'on ne peut guère tirer de leurs observations une conséquence propre à confirmer et à infirmer le classement de M. Stoney.

En résumé, je crois que mes observations, prises dans leur ensemble, tendent à faire ranger les corps de l'atmosphère solaire précisément dans l'ordre assigné à l'avance par M. Stoney. Jusqu'ici, l'expérience concorde donc d'une manière des plus satisfaisantes avec les vues de l'astronome anglais.

La photosphère est, d'une manière générale, avons-nous dit, composée d'une sorte de nuage, c'est-à-dire de parti-

cules solides ou liquides dans un grand état de division et en suspension dans un milieu moins dense ; mais sa structure intime est loin d'être la même dans tous les points.

Les nuages de la photosphère sont les agents du rayonnement solaire, en sorte que leur surface supérieure se trouve dans des conditions analogues à la surface de la terre pendant la nuit, et doit se refroidir à une température sensiblement plus basse que celle des couches gazeuses situées soit au-dessus, soit au-dessous. En ce qui concerne l'atmosphère extérieure à la photosphère, on voit donc que sa température ira d'abord en s'élevant à partir de la photosphère et jusqu'à une certaine hauteur, pour décroître ensuite indéfiniment jusqu'aux limites de la masse solaire. Cette judicieuse et fine remarque, due à M. Stoney, a une grande importance au point de vue de la formation des taches.

Mais revenons à la photosphère elle-même. C'est dans ses couches les plus extérieures que doivent se former les nuages, et, si nous raisonnons par analogie avec ce qui se passe sur la terre, la création d'un nuage véritable commencera par la formation d'une sorte de brouillard lumineux un peu transparent, et ce n'est que par les progrès de la condensation que ce nuage deviendra opaque et rayonnant.

Les nuages une fois formés tomberont vers l'intérieur du Soleil, soit qu'ils se résolvent en pluie, soit qu'ils soient transportés par les courants verticaux descendants. Dans cette chute, leurs particules solides ou liquides se réchaufferont peu à peu, et, avant de passer à l'état de vapeur, elles auront, pendant un moment, le pouvoir rayonnant maximum qui convient à leur substance ; en sorte que ces gouttes de pluie, plus lumineuses que les nuages, seront la principale source de la lumière solaire.

L'intensité lumineuse de la photosphère va donc en décroissant de la zone des pluies vers la zone des nuages, ou

de l'intérieur vers l'extérieur. Ce décroissement rapide de la lumière solaire est réel et très-sensible au moment des éclipses totales et avec de fortes lunettes ; il a été signalé en 1860 par M. Le Verrier, et très-nettement vu en 1868 par MM. Stephan et Tisserand. M. Stephan, qui observait avec un télescope de 40 centimètres d'ouverture, n'a pas hésité à considérer « le globe du Soleil proprement dit comme » environné d'une couche diaphane mince et très-brillante » surmontant immédiatement ce que l'on est convenu » d'appeler la *photosphère* ⁽¹⁾. » Cette couche avait environ 4 secondes d'arc d'épaisseur.

La décroissance de l'éclat lumineux de la photosphère, quand on marche de l'intérieur vers l'extérieur, prévue par la théorie de M. Stoney, constatée en 1860 et 1868, me paraît en outre nécessaire pour expliquer pourquoi le diamètre du Soleil mesuré par les éclipses totales est plus grand de quelques secondes (3 ou 4) que celui que l'on obtient par les mesures d'ascensions droites ou de déclinaisons. On comprend en effet très-bien que si, comme la flamme d'une bougie, le Soleil se termine par des couches de moins en moins lumineuses, les dernières de ces couches seront invisibles en présence de la clarté éblouissante de la totalité de l'astre, c'est-à-dire au moment d'observations méridiennes, et deviendront sensibles lorsque la Lune aura caché la presque totalité de l'astre, c'est-à-dire pendant les éclipses ; dans ce dernier cas, le diamètre apparent du Soleil est donc augmenté de quelque chose. Si, au contraire, on admet que la zone lumineuse du Soleil se termine brusquement, il n'y a plus d'explication satisfaisante de la différence entre le diamètre du Soleil des observations méridiennes et le diamètre du Soleil des éclipses.

Mais revenons à la photosphère.

(1) STEPHAN, *Rapport sur l'éclipse totale de Soleil du 18 août 1868* (*Archives des missions scientifiques*, t. V, 2^e série; 1869).

Les irrégularités que l'alternance et le mélange des courants chauds ascendants et des courants froids descendants produisent nécessairement dans la surface rayonnante de la photosphère et dans la couche des nuages qui la surmontent, suffisent à rendre compte des différences d'aspect des divers points de la surface solaire et expliquent par conséquent le pointillé remarquable de cette surface.

Quant aux taches, voici, suivant M. Stoney, leur origine probable.

Il résulte des explications précédentes que la photosphère lumineuse se trouve comprise entre deux couches de gaz plus chauds qu'elle : l'une de ces couches est la masse interne du Soleil ; l'autre est la couche médiane de l'atmosphère solaire. Que, par une cause quelconque, un jet puissant de gaz sorti de la masse interne vienne empiéter sur la photosphère et chauffe assez cette région pour que la pluie solaire n'y soit plus possible et que la condensation des vapeurs s'arrête à l'état de nuages, nous aurons alors une région dont la clarté sera inférieure à celle de la masse générale de la photosphère et qui aura la même apparence pointillée que la photosphère et, par conséquent, ressemblera en tout point à une pénombre. Que l'échauffement de la photosphère soit plus considérable encore, que toute condensation nuageuse cesse, nous aurons alors une portion de la surface solaire dans laquelle toute matière solide ou liquide aura disparu, où le rayonnement lumineux, dû à des gaz seuls, sera très-faible et qui, par conséquent, sera obscure et formera le noyau d'une tache ; ce noyau sera d'ailleurs nécessairement entouré d'une région dans laquelle la dissolution des matières solides sera moins complète : il y aura, par conséquent, autour de lui, une pénombre.

Les taches peuvent donc se former à l'aide d'un courant gazeux ascendant, comme le voulait M. Faye ; mais elles peuvent aussi se former à l'aide d'un courant gazeux descendant, et cette dernière hypothèse paraît bien plus probable.

Imaginons, en effet, qu'une portion de la couche chaude qui surmonte les nuages de la photosphère soit ramenée en contact avec ces nuages. Ces nuages, placés en contact d'un courant chaud et non saturé de vapeurs, se dissoudront, ou du moins deviendront très-légers ; dans tous les cas, leur transparence se trouvera beaucoup augmentée, et, par suite, les couches photosphériques profondes et très-lumineuses paraîtront plus brillantes. La disparition de la couche nuageuse photosphérique donnera naissance à une facule.

Que la pénétration et l'échauffement de la photosphère par le courant supérieur soient plus profonds encore, la pluie photosphérique cessera et sera remplacée par une couche de nuages, c'est-à-dire par une pénombre vers le centre de laquelle un échauffement plus considérable, faisant disparaître toute condensation, produira un noyau de tache.

Cette dernière hypothèse, en faisant dépendre la formation des taches de l'action d'une couche extérieure à la photosphère, montre parfaitement que les facules doivent précéder les taches et se trouver accumulées autour d'elles : ce dont l'hypothèse de la cause interne ne rend que difficilement compte.

Nous avons en outre des preuves directes de l'existence d'un courant gazeux descendant dans l'intérieur des taches en voie de formation ou de développement.

D'abord, certains astronomes, et en particulier M. Lockyer, ont vu parfois les feuilles de saule qui constituent la couche nuageuse de la photosphère se précipiter vers les taches et s'y éteindre, tout en conservant leur forme ; dans des cas pareils, on ne saurait nier qu'il y avait transport de matière de l'extérieur vers l'intérieur de la tache et de haut en bas, puisque c'était les couches supérieures de la photosphère qui se précipitaient dans les taches.

Ensuite, le R. P. Secchi ⁽¹⁾ rapporte qu'il a, dans plusieurs circonstances, observé que les protubérances voisines d'une tache s'inclinent vers le centre de cette tache, comme s'il y avait un appel de gaz vers le centre de celles-ci.

Mais, sans recourir à des phénomènes aussi rares que ceux vus par M. Lockyer, on peut trouver dans l'examen journalier des pénombres des traces du courant descendant qui forme les taches. Les pénombres sont, en effet, remplies de filaments de matière blanche dont la direction générale est celle de la circonférence au centre ; ces filements sont presque toujours courbes, et la direction de cette courbure doit être différente, suivant que, dans les régions supérieures de la tache, qui sont celles que nous voyons, les gaz convergeront vers le centre de la tache ou en divergeront. D'après ces considérations, M. Sonrel (*Comptes rendus* du 23 août 1869) a trouvé que :

- « 1° Quand une tache est en voie d'accroissement, le
- » mouvement des gaz y est centripète ;
- » 2° Ce mouvement se ralentit et devient quelquefois
- » centrifuge, quand la tache entre dans sa voie de décrois-
- » sance ;
- » 3° Une tache persiste aussi longtemps que le mouve-
- » ment y reste centripète. »

Les conclusions de M. Sonrel sont, on le voit, favorables à notre hypothèse d'un courant descendant, qui produit les taches en dissolvant les matières lumineuses de la photosphère et non pas en les éteignant.

Si, en effet, le noyau des taches était formé d'un nuage de particules solides froides, ce noyau serait absolument obscur ; or l'analyse spectrale de cette région m'a montré que le noyau possédait une lumière propre très-sensible et que, s'il était moins brillant que la masse de la photosphère, cela provenait d'un accroissement dans l'obscurité des li-

(1) SECCHI, *Atti dell' Accademia Pontificia de nuovi Lincei*, 16 avril 1871.

gnes noires du spectre solaire ordinaire, accroissement identique à celui qui résulterait d'une augmentation dans la densité des vapeurs métalliques que renferme l'atmosphère solaire ; or, c'est précisément un accroissement de cet ordre que doit produire la dissolution des nuages photosphériques par un courant chaud.

Une comparaison des plus minutieuses entre le spectre solaire ordinaire et le spectre d'un noyau de tache pourra seule nous renseigner sur l'origine de la lumière de cette région, qui, suivant certains astronomes, serait due à la masse centrale du Soleil, et qui, suivant d'autres, serait empruntée à la paroi opposée de la photosphère.

Indépendamment des raisons précédentes, qui tendent à faire admettre que l'origine des taches doit être cherchée dans les couches extérieures à la photosphère, il me reste à montrer, avec M. Stoney, que cette cause extérieure permet d'expliquer la localisation des taches.

Quoique lente, la rotation du Soleil a pour conséquence nécessaire un aplatissement de ses diverses couches atmosphériques ; chacune d'elles a au pôle une épaisseur moindre qu'à l'équateur. Ceci aura lieu, en particulier, pour l'ensemble des couches situées au-dessus de la photosphère ; elles seront plus minces au pôle qu'à l'équateur. Or, c'est à travers ces couches que se produit le rayonnement du Soleil, et ce rayonnement doit, par conséquent, être plus facile au pôle qu'à l'équateur. L'atmosphère polaire sera donc traversée par une plus grande quantité de chaleur que l'atmosphère équatoriale. La température d'un gaz croît en même temps que la quantité de chaleur qui le traverse ; en sorte que les gaz du pôle seront plus chauds et plus légers que ceux de l'équateur. Il tendra donc à s'établir sur le Soleil un courant supérieur allant du pôle vers l'équateur et un courant inférieur allant de l'équateur au pôle.

Ces deux courants combinés avec la rotation du Soleil donneront dans l'hémisphère nord des vents supérieurs de

N.-E. et des vents inférieurs de S.-O. Le courant supérieur polaire tend à se rapprocher de la surface de la photosphère, le courant inférieur équatorial tend, au contraire, à s'en éloigner; en sorte que, vers une certaine latitude moyenne, les deux courants doivent se mélanger, et de leur entrelacement naissent des tourbillons capables d'apporter dans l'équilibre de la photosphère le trouble nécessaire à la production d'une tache. La localisation des taches dans une zone déterminée de chaque hémisphère solaire résulte de ce que les tourbillons se produisent principalement à la latitude moyenne de rencontre des deux courants.

Les phénomènes sont symétriques dans les deux hémisphères.

Quant à l'absorption qui produit les raies noires du spectre, elle a son siège principal dans la photosphère elle-même, les couches supérieures agissant sur la lumière émise par les couches inférieures. Si, en effet, l'absorption principale se produisait dans l'atmosphère extérieure à la photosphère, il serait inexplicable que les facules, qui sont à la limite supérieure de cette dernière, restassent aussi brillantes sur les bords du Soleil que vers son centre. Le fait que les bords du Soleil sont moins lumineux que le centre, et le renforcement de certaines lignes, en particulier celles du sodium, dans le spectre des bords, prouve cependant qu'une absorption faible, mais certaine, est produite par les couches extérieures du Soleil.

Les recherches et observations exposées dans ce Mémoire se résument ainsi :

Depuis l'observation des éclipses de 1868 et 1869, il est démontré que les protubérances sont des dépendances du Soleil, qu'elles sont formées de gaz ou de vapeurs incandescentes.

J'ai exposé la méthode qui permet d'étudier ces flammes en dehors des circonstances d'une éclipse totale; cette méthode, mise en pratique avec un spectroscopé que j'ai spécialement fait construire pour les observations du Soleil, m'a permis de former un catalogue complet et exact des diverses lignes brillantes de l'atmosphère et des protubérances solaires. Dix-sept de ces lignes ont une longueur d'onde identique à celles des lignes brillantes de l'hydrogène, du magnésium, du sodium, du fer, du nickel, du manganèse et du baryum; cinq autres lignes ne peuvent être identifiées avec les lignes d'aucune substance connue.

Je me suis en outre appliqué à décrire exactement l'apparence des diverses lignes brillantes et à faire connaître l'altitude relative que peuvent atteindre les substances qui les produisent. De mes observations, il résulte que, comme le voulait M. Stoney, les corps de l'atmosphère solaire sont rangés dans l'ordre de leurs équivalents, ceux dont le poids atomique est le plus faible étant situés à l'extérieur, ceux dont le poids atomique est grand restant confinés dans les couches inférieures.

J'ai enfin indiqué à grands traits les caractères spéciaux de la lumière des taches.

Toutes mes observations sont d'accord avec les théories de MM. Faye et Stoney; je conclus donc, avec ces astronomes, que le Soleil est formé d'un noyau central gazeux très-chaud et peu lumineux, d'une zone de pluies lumineuses, d'une zone de nuages, d'une atmosphère d'hydrogène incandescent, où l'on rencontre parfois certaines vapeurs métalliques aussi incandescentes, et dans laquelle se

forment les protubérances, et puis enfin d'une atmosphère sans aucun doute très-considérable, mais qui n'est point lumineuse par elle-même, et dont le pouvoir absorbant est très-faible.

Vu et approuvé :

Le 27 septembre 1871.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer :

Le 27 septembre 1871.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

A. MOURIER.

SECONDE THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

De l'analyse spectrale au point de vue chimique.

Vu et approuvé :

Le 27 septembre 1871.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
MILNE EDWARDS.

Vu et permis d'imprimer :

Le 27 septembre 1871.

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
A. MOURIER.

PARIS.—IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

Rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.